

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平8-509103

(43) 公表日 平成8年(1996)9月24日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I
H 0 1 P 1/18		4241-5 J	H 0 1 P 1/18
H 0 1 L 39/02	Z A A	8832-4 M	H 0 1 L 39/02
H 0 1 P 1/203		9183-5 J	H 0 1 P 1/203
3/08		4241-5 J	3/08
9/00		4241-5 J	9/00
			A
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求(全 69 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願平6-513506
 (86) (22) 出願日 平成5年(1993)12月1日
 (85) 翻訳文提出日 平成7年(1995)6月1日
 (86) 国際出願番号 P C T / U S 9 3 / 1 1 7 8 0
 (87) 国際公開番号 W O 9 4 / 1 3 0 2 8
 (87) 国際公開日 平成6年(1994)6月9日
 (31) 優先権主張番号 0 7 / 9 8 3 , 6 3 2
 (32) 優先日 1992年12月1日
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)
 (31) 優先権主張番号 0 8 / 1 4 0 , 7 7 0
 (32) 優先日 1993年10月21日
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 スーパーコンダクティング・コア・テクノロジー・インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国コロラド州80401, ゴールデン, コーボレイト・サークル 720
 (71) 出願人 ユニバーシティ・リサーチ・コーポレーション
 アメリカ合衆国コロラド州80306, ボウルダー, ユニバーシティ・アベニュー 1305, ビー・オー・ボックス 1140
 (72) 発明者 ヤンドロフスキー, ロバート・エム
 アメリカ合衆国コロラド州80123, リトルトン, ダッチ・クリーク・ドライブ 7
 (74) 代理人 弁理士 湯浅 恭三 (外6名)
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高温度超電導膜および強誘電性膜を含む同調可能マイクロ波装置

(57) 【要約】

当該開示は、周波数同調可能な損失の低い受動型マイクロ波およびミリ波装置を製造するため組合わせて使用される強誘電性および超伝導性薄膜に関する。種々の金属酸化物の超伝導性および強誘電性薄膜を、強誘電性膜に跨って電圧バイアス信号の印加によりマイクロ波およびミリ波信号を操作することができる装置を製造する種々の被着技術によって、多数の多層形状で被着することが可能である。遅延線、移相器、共振器、発振器、フィルタ、電氣的に小型のアンテナ、ハーフ・ループ・アンテナ、指向性結合器、パッチ・アンテナ、および種々の放射格子を含む多くの超伝導性マイクロ波およびミリ波装置を、電圧バイアスを掛けた強誘電性薄膜から作られる電圧同調可能なコンデンサ構造を用いて周波数同調可能にされる。強誘電性の薄膜格子に対して2つ以上の電圧バイアス信号を印加することによりビーム・パターン of 電氣的指向操作を可能にする組合わされた超伝導性および強誘電性の薄膜構造および形態を組み込んだ同調可能なアンテナ・アレイもまた開示される。金属酸化物の超伝導体および強誘電体の薄膜を種々の組合わせて用いる

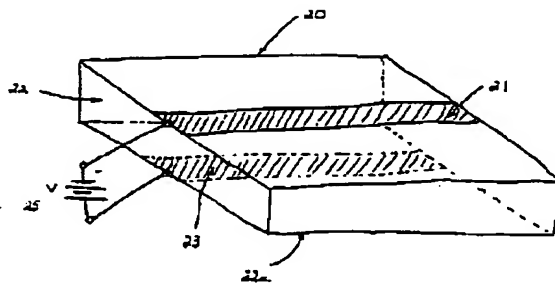


FIG. 2

BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

1. 強誘電体の薄膜であって、前記強誘電体薄膜の誘電性が強誘電体薄膜に印加される電圧の関数であり、該強誘電体薄膜が強誘電体薄膜の薄膜の誘電性に応答して同調されるべき回路に接続されるものである該強誘電体の薄膜と、前記強誘電体同調の表面と隣接する超伝導体の薄膜とを含み、該超伝導体薄膜が前記強誘電体薄膜の誘電性を決定するため強誘電体薄膜に電圧を印加する

同調可能電氣的構成要素。

3. 前記強誘電体薄膜とこれを担持するため前記超伝導体薄膜との一方と隣接する基板を更に含む請求の範囲第1項記載の同調可能電氣的構成要素。

7. 前記超伝導体薄膜が被着される前記強誘電体薄膜の表面と反対面に被着された強誘電体薄膜の表面上に被着された超伝導体の別の薄膜を更に含む請求の範囲第1項記載の同調可能電氣的アンテナ構成要素。

【発明の詳細な説明】

高温超電導膜および強誘電性膜を含む同調可能マイクロ波装置

発明の背景1. 発明の分野

SrTiO_3 、 $\text{Pb}(\text{Sr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 、 $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{TiO}_3$ などの強誘電性膜は、この強誘電性膜の誘電率が強誘電性膜に印加される電圧の変化により同調可能であるので、同調可能コンデンサを生じる手段を提供する。それらの本質的に低い高周波損失の故に、これらの材料は、遅延線および移相器を含む種々のマイクロ波構成要素に組み込むことができる。

遅延線および移相器の主な用途の1つは、フェーズドアレイ・アンテナ (phased array antenna) に対するものである。電圧制御される強誘電性膜は、マイクロストリップまたは同一面遅延線の誘電率を変化させ、従って時間遅延を変化させる。このような移相器または同調可能遅延線は、アンテナ・アレイの各々の放射素子からの送信または受信されるマイクロ波信号およびミリ波信号の位相遅延に用いることができる。

このような同調可能強誘電性膜は、移相器、整合ネットワーク、発振器、フィルタ、共振子、ループ・アンテナ、超電導膜素子などの如き大きな同調可能マイクロ波要素および装置において使用することができる。

本発明は、一般に、材料の誘電率が電圧その他のパラメータと共に変化する事実を利用して同調される装置に関し、特に強誘電性薄膜を同調可能な安定材料として利用する如き装置に関する。

2. 従来技術の説明

強誘電性移相器については、V. K. Varadan等の「電子的に操作可能なアンテナ・システム用セラミック移相器 (Ceramic Phase Shifters for Electronically Steerable Antenna Systems)」(Microwave Journal、1992年1月、116～126ページ)に開示されている。

マイクロ波周波数送信に超電導体を用いることは、P. A. Ryanの「EW

のための高温超電導 (High-Temperature Superconductivity for EW)」(Journal of Electronic Defense、1992年8月、48～54ページ)に開示されている。

超電導電界効果 (FET) 状態子における誘電層として使用される SrTiO_3 の薄膜の誘電特性については、A. Walkenhourst等の「高 T_c 超電導電界効果素子に用いられる SrTiO_3 薄膜の誘電特性 (Dielectric properties of SrTiO_3 thin films used in high T_c superconducting field-effect devices)」(Appl. Phys. Lett. 60 (14)、1992年4月6日、1744～1746ページ)に開示されている。

SQUIDSを用いる超電導移相器は、C. M. Jackson等の「モノリシック HTS マイクロ波移相器および他のデバイス (Monolithic HTS Microwave Phase Shifter and Other Devices)」(Journal of Superconductivity、第5巻、第4部、1992年、419～424ページ)に開示されている。

超電導給電ネットワークおよびアンテナ・アレイのアンテナ素子については、R. J. Dinger等の「高温超電導体の可能な受動的アンテナ用途の調査 (A Survey of Possible Passive Antenna Applications of High-Temperature Superconductors)」(IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques、第39巻、第9部、1991年9月)に開示されている。

超電導薄膜アンテナは、R. J. Dinger等の論文「500MHzにおける薄膜 Y-Ba-Cu-O 超電導ハーフループ・アンテナの放射効率測定 (Radiation Efficiency Measurements of a Thin-Film Y-Ba-Cu-O Superconducting

Half-Loop Antenna at 500 MHz)」(1991年6月、MTT-S、ボストンで提出、1～4ページ)に開示されている。

BST材料薄膜の誘電性は、J. F. Scott等の「16および64Mビットのドラム・セル用のチタン酸バリウム・ストロンチウムにおけるマイクロ構造が生じるショットキー障壁効果 (Microstructure-Induced Schottky Barrier Effects in Barium Strontium Titanate (BST) Thin Films for 16 and 64 MBIT Dram Cells)」(略々1992年)に開示されている。

膜に印加される電圧を変化させることにより膜の誘電率が同調可能である誘電膜が、遅延線、移相器およびフェーズドアレイ・アンテナを含む種々のマイクロ波構成要素に使用することができる同調可能コンデンサを生じる手段を提供することが知られている。遅延線においては、誘電材料に印加される電圧が、材料を通過する電気信号の誘電率を、従って移動時間即ち遅延を変調する。遅延線は、一般にマイクロストリップまたは共面デバイスとして作られる。この遅延時間が信号の位相の偏移に用いられるならば、デバイスは移相器と呼ばれる。このような移相器即ち同調可能遅延線は、フェーズドアレイ・アンテナを形成するため、アンテナ・アレイのこの放射素子から送られあるいは受取られるマイクロ波およびミリ波の波形信号を位相遅延させるように使用することができる。高周波における本質的に低い損失の故に、一般には誘電率が同調可能である材料でもある強誘電体がこのようなデバイスにおいて特に有効である。このような同調可能な強誘電膜は、先に述べた遅延線、移相器およびフェーズドアレイ・アンテナ、ならびに整合ネットワーク、発振器、フィルタ、共振子、ループ・アンテナおよび他の多くの装置を含む大きなファミリの同調可能マイクロ波構成要素および装置において使用することができる。

強誘電移相器、特に位相の生成のためバイアス電界による誘電率の変化を用いるチタン酸バリウム・ストロンチウム (BST) 移相器について、V. K. Varadan等の「電子的に操作可能なアンテナ・システムのためのセラミック移

相器 (Ceramic Phase Shifters for Electronically Steerable Antenna Systems)」 (Microwave Journal、1992年1月、116～126ページ) に開示されているが、誘電率の変化および位相偏移は非常に小さいためバルク・デバイスのみが適している。

電界による誘電率の変化を用いて位相偏移を変化させる高温超伝導体／強誘電移相器については、C. M. Jackson等の「高温超伝導体移相器 (A High Temperature Superconductor Phase Shifter)」 (Microwave Journal) 第5巻、第4部、1992年12月、72～78ページ) に開示されている。特に、 $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{TiO}_3$ が、このような移相器に対する然るべき材料として述べられている。電圧制御される誘電率同調可能位相偏移装置における SrBaTiO_3 のこのような使用もまた、Jackson、M. Charles等の「強誘電体と高温超伝導体を組合わせる新規なモノリシック移相器 (Novel Monolithic Phase Shifter Combining Ferroelectrics and High Temperature Superconductors)」 (Microwave and Optical Technology Letters) に述べられている。しかし、この両方の論文では、約10%の中程度の位相偏移のみが開示されている。これらの装置がマイクロ波集積回路 (MIC) サイズまでスケール・ダウンされたものとして、この装置は薄膜で作られねばならず、薄膜の表面効果が優勢であり、同調可能性が実用的な意味で有効であるには小さ過ぎ、MIC装置が信頼性と低コストを含む多くの利点を提供するため、このような装置における有効な同調可能性を提供する誘電材料を有することが非常に望ましいことになる。

従来技術の同調可能マイクロ波およびミリ波の装置は、誘電率の変化度、損失

性および他のパラメータ間に介在する全ての妥協を有する。誘電材料は、装置の最大の同調可能性を許容するため誘電率における高い変化度を持たねばならない。損失性は、さもなければ装置の電力使用が過大になるので、低くなければなら

ない。このため、高度の同調可能性と低い損失性の両方を具有する同調可能マイクロ波およびミリ波の装置を具有することが大きな利点となろう。

発明の概要

本発明は、周波数同調可能であるマイクロ波およびミリ波装置の製造のため、超伝導薄膜構造中に誘電層として薄膜を分離する強誘電体を使用することに関するものである。特に、強誘電性薄膜の様々な部分にわたる電圧バイアス信号の印加により周波数同調可能である全く新しい種類のマイクロ波およびミリ波装置を製造するために、金属酸化物の強誘電性および超伝導薄膜が組合わせて用いられる。このような構造においては、高周波における超伝導体の低い損失性能の故に、装置のマイクロ波およびミリ波性能は、大半が強誘電性層に接する損失によって制限される。全種類の金属酸化物強誘電体との全種類の金属酸化物超伝導体の基本的な材料互換性が、超伝導体上の強誘電体構造および強誘電体上の超伝導体構造を含む多数の多層形状を設計し製造するための独特な柔軟性を薄膜材料システムに提供する。

本発明は、他の超伝導装置の非常に低い損失性能を有するが大部分の実際の用途に要求される必要な周波数同調性をも有するマイクロ波およびミリ波装置を製造するために特に有効である。本発明によって、超伝導薄膜と組合わせて電圧バイアスを課した強誘電薄膜から作られる電圧同調可能なコンデンサ構造を用いることにより周波数同調可能である遅延線、移相器、共振子、発振器、フィルタ、電氣的に小型のアンテナ、ハーフ・ループ・アンテナ、指向性結合器、パッチ・アンテナ、および種々の放射格子を含むがこれに限定されない種々のマイクロ波およびミリ波装置を具現することが可能である。

本発明は、種々のマイクロ波構造における同調可能性を達成するための、高温超伝導体 (HTSC) 材料の薄膜および強誘電材料の薄膜の両方の利用に関するものである。

SrTiO_3 、 $\text{Pb}(\text{Sr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 、 $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{TiO}_3$ などの強誘電膜は、強誘電膜の誘電率がこの強誘電膜に印加される電圧の変化により同調可能であるので、マイクロ波周波数における同調可能なコンデンサ構造を製造する手段

を提供する。本発明によれば、強誘電材料の薄膜は、強誘電材料の薄膜への電圧の印加により周波数同調可能である低い損失のマイクロ波およびミリ波装置を製造するために、 $Y-Ba-Cu-O$ (YBCO) または $Ti-Ba-Cu-O$ (TBCCO) の如き高温超伝導体 (HTSC) の薄膜 (複数または単数) が提供される。基板上に被着される HTSC 材料および強誘電材料の薄膜構造は、強誘電材料およびインピーダンス整合構造の接触損失によってのみ制限される低減した損失を結果として得る。HTSC 薄膜と強誘電薄膜の組合わせは、大きなファミリの同調可能なマイクロ波構成要素、および真の遅延時間、超伝導移相器、同調可能な遅延線、共振子、フィルタ、整合ネットワーク、発振器および同調可能アンテナを得るための方法を提供する移相装置などの装置において使用することができる。

HTSC 薄膜および強誘電薄膜の組合わせは、実質的な周波数同調可能性、簡単な構造、温度動作範囲の最適化の可能性、変更可能な薄い誘電能力、低コスト、アンテナなどの他の構成要素との高レベルの一体化、回路の高電力の取扱いを含む独特な特性を持つ新規な種類のマイクロ波装置を提供する。構造の同調可能性の程度は、強誘電体、その形態形状 (例えば、膜の厚さ)、温度、および印加される電界または電圧に依存する。

広範な種類の強誘電体との YBCO、TBCCO および他の超伝導体の共用性は、蒸着、ゾルーゲル、スパッタリング、物理的蒸着、化学気相成長、レーザ被着その他を含む多岐の被着方法による強誘電体および超伝導体の最適化、および各々の交番層の成長を可能にする。HTSC 薄膜および強誘電膜の組合わせは、新規な種類の同調可能なマイクロ波およびミリ波装置を提供する。

本発明の主な適用法の 1 つは、フェーズドアレイ・アンテナのための移相器と同調可能な遅延線とを含む。電圧制御される強誘電薄膜は、マイクロストリップ線または共面遅延線のいずれか一方の誘電率を、従って遅延時間を変調する。こ

のような移相器または同調可能な遅延線は、アンテナ・アレイの個々の放射素子から送られあるいは受取られるマイクロ波およびミリ波の波形信号を位相遅延させるために使用することができる。この種類の同調可能なマイクロ波およびミリ

波の装置の他の用途は、共振子、フィルタ、整合ネットワーク、発振器、指向性結合器および同調可能アンテナを含む。

本発明はまた、フェーズドアレイ・アンテナにおける個々の放射素子のための誘電格子の利用を含む。このような格子（隣接する各素子間の遅延が固定された）は、固定された角度でエネルギーを放射する（あるいは、受取る）。この角度は、単一のバイアス電圧で誘電格子をバイアスすることにより調整することができる。このような電圧制御される格子は、単一のDCバイアス線の付設により（一方向に）指向操作を可能にする。

誘電格子の発明は、xとyの両方向における指向操作を備える2次元アレイへ拡張することができる。各々の格子の「パッチ」アンテナ間の固定間隔を有するこのような格子の簡単な2次元アレイが、第2の方向における同様な固定放射角度を提供する。第2の単一電圧のバイアス線が、アレイにおける各格子構造間の誘電率を、従って遅延時間を変化させる。

本発明はまた、実質的な同調可能性を持つ同調可能な超伝導共振子、実質的な同調可能性を持つ超伝導端部効果コンデンサを含む幾つかの容量結合装置を含み、また同調可能なループ・アンテナを含む広範囲の共振装置への同調可能装置の適用をも含む。

本発明はまた、同調可能な誘電率材料としてチタン酸バリウム・ストロンチウム（BST）を使用する同調可能なマイクロ波およびミリ波装置をも提供する。このBSTは、 $0.01 \leq x \leq 0.2$ である構造式 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ を有することが望ましい。当技術において周知のように、構造式BSTは、 $Sr_yBa_{1-y}TiO_3$ とも書くことができる。

BST、特にバリウムの量がストロンチウムの量に比較して小さいBSTが、マイクロ波およびミリ波の装置において非常に高い同調可能性を呈することが発見された。ゼロボルトから25ボルト（25キロボルト/cm）までの電圧の変

化により、ストロンチウムと比較して少量のバリウムを含むBSTの誘電率が典型的に約300%変化すること、またある場合には600%も変化すること、この電圧範囲が典型的な同調可能なマイクロ波およびミリ波装置の動作電圧範囲内

に充分に入ることが判った。このような高い誘電率の可変性は、回路の誘電性部分が非常に薄く、これにより損失を最小限に抑える、同調可能装置を作ることが可能にする。誘電性部分における損失が最小化されるので、コンデンサ部分は、従来のコンデンサを利用することができ、また更に超伝導体と従来の誘電体で作られる装置の損失係数程度である損失係数を持ち得る。

BSTマイクロ波およびミリ波の装置が50K乃至110Kの間の温度で動作するように設計されることが望ましい。このBSTは、このような温度範囲内で最大の同調可能性を呈することが判った。

図面の簡単な説明

図1は、強誘電体の薄膜上に被着され、全てが結晶基板上に被着されたHTSC材料のマイクロストリップ線を示す本発明の同調可能遅延線の特の実施例の平面図、

図2は、本発明の同調可能な超伝導体／強誘電体薄膜の概略図、

図3は、相互インダクタンス技術により測定される如きデポジション後の本発明の多層超伝導体／強誘電体薄膜に対する磁束スクリーニング温度特性のプロット、

図4は、本発明の同調可能な共振子に対する挿入損失対77Kにおける周波数のプロット、

図5は、強誘電体の膜の反対面と隣接するHTSC材料の薄膜の部分縦断面図、

図6は、フェーズドアレイ・アンテナ・システムにおける本発明の移相器の概略図、

図7は、アンテナ・アレイにおける個々の放射素子に対する本発明による誘電格子の部分縦断面図、

図8は、アンテナ・アレイに対する本発明による誘電格子の2次元アレイの概略図、

図9は、LaAlO₃基板上に形成された本発明の共面構造の斜視図、

図10は、本発明による共面キャビティにより形成された共振キャビティの斜

視図、

図11は、同調可能な強誘電性コンデンサと同調性のない容量結合されたマイクロストリップ線共振子とを持つ容量結合されたマイクロストリップ線共振子の概略図、

図12は、本発明による超伝導端部効果コンデンサの平面図、

図13は、図12のコンデンサの立面図、

図14は、強誘電層の頂面上のHTSC層を持つ本発明の特定の多層構造の断面図、

図15は、基板の頂面における強誘電層の頂面におけるHTSC層を持つ本発明の更に一般的な多層構造の断面図、

図16は、強誘電性基板上にHTSC層が直接被着される本発明の特定構造の断面図、

図17は、強誘電性層がパターン化されたHTSC層の頂面に被着され、この強誘電性層もまたHTSC層のエッチング領域を充填する本発明の特定多層構造の断面図、

図18は、強誘電性層とHTSC層が同じ面内にあり、本発明のHTSC強誘電性インターフェースが膜の縁部にある本発明の特定構造の断面図、

図19は、バルク結晶の誘電性、絶縁性あるいは強誘電性基板上にHTSC層および強誘電性層の種々の組合わせを持つ本発明の一般的強誘電構造の断面図、

図20は、強誘電体の薄膜と強誘電体の薄膜の他の面と隣接するHTSC材料の薄膜の1つの面と隣接するHTSC材料の共面薄膜の部分縦断面図、

図21は、本発明の指状に組合ったコンデンサの平面図、

図22は、図21の指状に組合ったコンデンサの部分縦断面図、

図23は、本発明のハーフ・ループ・アンテナの平面図、

図24は、図21のアンテナの共振回路の概略図、

図25は、BST遅延／偏移素子に対するバイアス電界の印加を示す本発明によるBST素子の断面図、

図26は、図25の遅延／偏移素子を用いるマイクロ波／ミリ波遅延／偏移装

置のブロック図、

図27は、本発明による遅延／偏移素子を用いるマイクロ波／ミリ波遅延／偏移装置の断面図、

図28は、本発明による遅延／偏移素子のマイクロストリップ伝送線の実施例の一部の斜視図、

図29は、本発明による集中キャパシタンス遅延／偏移素子を用いる人工伝送線の概略図、

図30は、BSTサンプルのためのバルク・キャパシタンス変化データの取得に用いられるコンデンサ装置の図、

図31は、BSTサンプルのための薄膜キャパシタンス変化データの取得に用いられるコンデンサ装置の図、

図32は、本発明による共面導波移相器素子の図、

図33は、図32における線281に関する図32の移相器の断面図、

図34は、図30に示される如き $\text{Ba}_{0.09}\text{Sr}_{0.91}\text{TiO}_3$ コンデンサに対する5つの電界強さに対するキャパシタンス対温度のカーブを示し、

図35は、図30に示される如き $\text{Ba}_{0.09}\text{Sr}_{0.91}\text{TiO}_3$ コンデンサに対する5つの電界強さに対するキャパシタンス対温度カーブを示し、

図36は、図31に示される如き $\text{Ba}_{0.08}\text{Sr}_{0.92}\text{TiO}_3$ 薄膜コンデンサに対する6つの電界強さに対するキャパシタンス対温度カーブを示し、

図37は、図36のカーブの取得において用いられるコンデンサより小さい図31に示される如き $\text{Ba}_{0.08}\text{Sr}_{0.92}\text{TiO}_3$ 薄膜コンデンサに対する4つの電界強さに対するキャパシタンス対温度カーブを示し、かつ3つの他の電界強さに対するキャパシタンス／温度カーブにおける1つの点をも示し、

図38は、図36のカーブの取得において用いられる同じコンデンサと電界強さに対する損失接線対温度カーブを示し、

図39は、図32および図33の移相器に対する位相角度の測定変化と実効誘電率対電界強さを示している。

望ましい実施例の説明

30 KのLa-Ba-Cu-O超伝導体および90 KのY-Ba-Cu-O超伝導体の如き高温超伝導体 (HTSC) の発見は、更に高温の超伝導体の世界的な競争を刺激した。90 K Ti-Ba-Cu-O系統、110 K Bi-Ca-Sr-Cu-O系統、および120 K Ti-Ba-Ca-Cu-O (TBCCO) 系統の発見により突破がなされた。Y-Ba-Cu-O系統は、液体窒素の沸点以上でゼロ抵抗に達する第一希土類系統であるが、Ti-Ba-Cu-O系統は100 K以上でゼロ抵抗に達し、最も高いゼロ抵抗温度 (127 K) を有する。

$Ti_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10+x}$ (2223) および $Ti_2Ba_2Ca_1Cu_2O_{8+x}$ (2212) を含む多数の超伝導相が、Ti-Ba-Ca-Cu-O系統から分離された。2223超伝導体は、 $3.85 \times 3.85 \times 36.25 \text{ \AA}$ 正方単位格子を有する。2122超伝導体は、 $3.85 \times 3.85 \times 29.55 \text{ \AA}$ 正方単位格子を有する。2223相は、余分なカルシウムと銅の層の加算により2122と関連する。更に、Caの無いTi-Ba-Cu-O系統における超伝導相は $Ti_2Ba_2CuO_{6+x}$ (2201) である。

本発明の新規な種類の同調可能マイクロ波装置は、薄膜における高温超伝導体 (HTSC) (Ti-Ba-Ca-Cu-OおよびY-Ba-Cu-Oの如き) の低損失を強誘電体の薄膜の可変誘電性と組合わせる。

$SrTiO_3$ 、 $Pb(Sr, Ti)O_3$ 、 $Sr_xBa_{1-x}TiO_3$ などの強誘電薄膜は、強誘電薄膜の誘電率がこの膜に加えられる電圧の変化によって同調可能であるので、マイクロ波およびミリ波の周波数における低損失同調可能コンデンサ構造を生じる手段を提供する。強誘電体の薄膜は、Y-Ba-Cu-OまたはTi-Ba-Ca-Cu-Oの如き高温超伝導体 (HTSC) の薄膜が提供される。このHTSC薄膜は、強誘電体の損失正接とインピーダンス整合構造によっ

てのみ制限される低減した損失を持つ多層構造を結果として得る。HTSC薄膜と強誘電薄膜の組合わせは、同調可能遅延線、同調可能フィルタ、整合ネットワーク、発振器、ループ・アンテナ、指向性結合器、共振器などにおける真の遅延時間を得るための方法を提供する移相器装置の如き大きなファミリの同調可能な

マイクロ波構成要素および装置において使用することができる。

強誘電体、例えば SrTiO_3 や種々のバリウムでドーブされたチタン酸ストロンチウムの薄膜は、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) または Ti-Ba-Ca-Cu-O (TBCCO) の如き HTSC 材料のデポジションのための優れた基板を提供する。 SrTiO_3 およびその関連物質は、YBCO、 Ti-Ba-Ca-Cu-O および他のタリウム銅酸化物半導体に近い優れた格子整合および熱膨張係数を持つ灰チタン石 (perovskite) 結晶構造を有する。一般に、アルミン酸ランタン (lanthanum alminate) などの如き他の基板もまた用いることができる。

HTSC 薄膜および強誘電薄膜の組合わせは、実質的な周波数同調可能性、簡単な構造、温度動作範囲の最適化の可能性、種々の薄い誘電体の使用能力、低コスト、アンテナなどの他の構成要素との高レベルの一体化、および回路の電力取扱い (power handling) を含む独特な特性を具有する新規な種類のミリ波装置および同調可能マイクロ波装置を提供する。前記構造の同調可能性の程度は、材料、その形状および形態 (例えば、膜の厚さ)、温度および印加電圧に依存している。

高品質の SrTiO_3 、 BaSrTiO_3 、 LaAlO_3 、および他の誘電性薄膜は、ゾルゲル、プラズマスプレー、スパッタリング、物理気相成長法、化学気相成長法、レーザ・デポジションおよび他の技法によって、HTSC 薄膜 (例えば、YBCO または Ti-Ba-Ca-Cu-O) 膜上に被着することができる。HTSC 層の超伝導特性は、強誘電薄膜との互換性およびその反対の互換性に依存し、ならびに処理条件に依存する。実際の回路においては、良好なインピーダンス整合を提供するために固定された動作温度が要求される。広帯域のコンパクトな低コストで薄膜の超伝導整合回路が得られる。本発明の同調可能な超伝

導/強誘電構造の種類の薄膜多層構成は、モノリシック・デバイスおよび集積回路が設計し得る更なる利点を有する。

図 1 に示されるように、接地面 23 上に被着される強誘電体薄膜 22 上に被着

されたHTSC材料、例えばYBCO材料の薄膜のパターン化されたマイクロストリップ線21によって同調可能遅延線20が形成される。更に、接地面23が、 SrTiO_3 の如き結晶基板上に被着される。強誘電体薄膜22は、例えば、100Å乃至1000Åの厚さでよい。超伝導体即ちマイクロストリップ線21と接地面23との間に電圧を印加することにより、DCバイアスが強誘電層に与えられ、これによりその層内の誘電率および光波の伝播速度を変化させる。マイクロストリップ線および接地面の両者がHTSC材料から作ることができることに注目されたい。

YBCO薄膜のマイクロストリップ線即ちパターン21が、ゾルーゲル、化学気相成長法、物理気相成長法、スパッタリング、レーザ・デポジション、または他の技法を用いることによって、 SrTiO_3 薄膜基板22上に被着される。超伝導薄膜および強誘電薄膜のゾルーゲル・デポジションおよび化学気相成長法については、米国コロラド州、Colorado SpringsのSymetrix社に譲渡された米国特許第5,119,760号および同第5,138,520号に開示されている。

図2は、マイクロストリップ線または(HTSC)YBCO材料の薄膜21を含む同調可能遅延線20の概略図を示している。通常の金属(例えば、銀)またはHTSC材料の接地面23が、基板即ち膜22の背面22a上に被着される。変更可能な電圧源25が、可変電圧Vをマイクロストリップ線21および接地面23により強誘電体層22に対して電界として印加されることを可能にする。

SrTiO_3 は、強誘電体の分類において BaTiO_3 と同じ族に帰属する。 BaTiO_3 は、周知の強誘電体およびその立方相から正方相への相転位であり、ここで外部電界における正方相におけるTiの小さな変位が強誘電性の起因である。 SrTiO_3 は、より低い温度において3つの結晶相転位を有する(表1参照)。

表 1
SrTiO₃の低温度相転位 #

温度 (K)	定常相	物理的定数
> 110	立方相	$a = 3.902 \text{ \AA}$
65 ~ 110	正方相	$c / a = 1.00056$
35 ~ 65	斜方相	$a : b : c =$ $0.9998 : 1 : 1.0002$
< 10	菱面相	

薄膜 22 に対して使用可能な他の強誘電体は、BaTiO₃、LiNbO₃、Pb(Sr, Ti)O₃、Sr_xBa_{1-x}TiO₃などを含む。第 III 族乃至第 V 族、および第 II 族乃至第 VI 族は、エピタキシャル・デポジションが要求されるならば起生する格子整合問題を解消するため、他の緩衝層と共に使用することができる。

同調可能遅延線 20 の同調可能性の程度は、強誘電体、温度および印加される電界即ち電圧に依存する。

本発明の超伝導体／強誘電体の同調可能遅延線 20 の利点は、その電力扱い能力である。デポジションは、RF 電圧が DC 制御電圧と共用し得るようになる時、非線形伝送線で生じ得る。マイクロストリップ線の電力扱い性は、使用される最小バイアス電圧から推定することができる。電力は、 $P = V^2 / Z$ により与えられ、ここで P は電力に等しく、V は電圧、Z はインピーダンスに等しい。従って、5 ボルトのバイアスおよび 1 オームのインピーダンスの場合、非線形性が現れる前に、25 ワット（即ち、> 40 dBm）を取扱うことができる。高い電力レベルが、線の臨界電流伝送能力を越えないことを保証するマイクロストリップ線幅要件を設定することになる。

図 3 は、本発明の多層超伝導体／強誘電体薄膜の温度変化による実電圧と仮想電圧に関する抵抗値の変化を示す。

図 4 は、本発明の同調可能共振器に対する 77 K 時の GHz の周波数に対して

プロットされたdB単位の同調可能共振器の挿入損失とその共振周波数ピーク値における変化を示す。

図5は、HTSC材料の断面におけるマイクロストリップ線31を示す。図5に示されるように、マイクロストリップ線31のHTSC材料32の薄膜は、強誘電体の薄膜34上に被着される。強誘電体の薄膜34上に被着される。強誘電体薄膜34は、HTSC材料薄膜33と隣接している。結晶性基板35が、薄膜33、34および32を支持している。

図6において、 θ_0 は、放射器41の線に対して直角に延長する軸に関してフェーズドアレイ・アンテナにより整形されるビームの角度である。間隔「d」は、放射器41間の間隔である。「 λ 」は、放射の波長である。「 ϕ 」は、ソース47からの放射の位相角である。「 $\Delta\phi$ 」は、他の放射器に関するアンテナ40の放射器41の各々の伝播相における差である。「2x」、「3x」、「4x」、「5x」、「6x」および「7x」の「x」は、「 $\Delta\phi$ 」に与えられる定数である。

大きさ、重さおよび駆動機構が制限される場合、伝統的な移動反射器アンテナは、ある用途においてはフェーズドアレイ・アンテナによって置換されつつある。形状が略々平坦である従来のフェーズドアレイ・アンテナは、かなりの数の密な間隔の個々の放射器によって形成され、この放射器の複合ビームはマイクロ秒単位で整形され空間的に指向され、これによりアンテナが一時に多数の目標を追跡することを可能にする。これは、各個の放射素子と関連するRF移相器によって電氣的に行われる。

高水準の受動型フェーズドアレイ・アンテナは、その用途が他の要因よりもコストによって制約される。要求される移相器は、安価ではなく、それぞれそれ自体の移相器を備える典型的なアレイが数千の個々のアンテナ要素を必要とするので、全システムの価格は莫大なものとなる。

このようなフェーズドアレイの主たる問題は、大きなアレイ、即ち、多数の放射素子を有するアンテナ・アレイの場合、各放射素子に対する各個の遅延時間を

制御する必要が、各個の移相器が独立的に電圧バイアスを掛けられることを要求

する。100×100もの放射素子のアレイは、必然的に10,000個の独立的に制御されるバイアス電圧線を必要とし、これは複雑さとコストにおいて膨大なものになり得る。

強誘電移相器の設計は、誘電性の許容度がRFエネルギーの偏波と平行でありかつ伝播方向と直角をなすDC電界の印加により変化するように作ることができる。許容度の変動がRF伝播速度を変化させ、導波管構造に結合されるならば、遮断波長および導波管自体の拡散を変化させることになる。これら2つの効果が、伝播相の変動へ変わる。強誘電体とHTSC材料の移相器を含む短い導波管部が、フェーズドアレイ・アンテナ形態における電子的な走査を行うための主要な要素を構成する。

本発明の薄膜のHTSC材料および強誘電薄膜技術の典型的な応用は、フェーズドアレイ・アンテナに対する移相器に対するものである。電圧制御された強誘電薄膜は、マイクロストリップ線または共面遅延線のいずれかの誘電率を、従って遅延時間を変調するために使用することができる。このような移相器即ち同調可能遅延線は、アンテナ・アレイの個々の放射素子から送られあるいは受取るマイクロ波およびミリ波の波長信号を位相遅延させるために使用することができる。

図6に示されるように、本発明のフェーズドアレイ・アンテナ40は、複数の放射器41を含んでいる。マイクロ波周波数における如き電磁波のソースからのアンテナ入力42は、電力分配ネットワーク43が設けられる。この分配ネットワークは、本発明に従ってアンテナ入力を複数の移相器44の各々に接続する。移相器44の各々の超伝導薄膜は、リード45により制御回路46に接続される。この制御回路は、超伝導薄膜により移相器44の各々の強誘電膜に印加される電圧を制御するようにプログラム47によって駆動される。このため、移相器44の各々の強誘電薄膜の誘電許容度は、可変DC電界の印加により変更することができる。DC電界は、RFエネルギーの伝播方向と直角に、かつ移相器を経てフェーズドアレイ・アンテナ40の放射器41へ送られるRFエネルギーの偏波と平行

に加えられる。強誘電薄膜の許容度における変動は、RF伝播速度を変化させ、またアンテナの放射器41へ送られるRFエネルギーの遮断波長および拡散を変化させ得る。その結果、1つの放射器の他の放射器に対する伝播相における変化が存在する。このため、プログラマ47は、制御回路46によってアンテナ40の放射器41に接続された移相器44の電子的走査を行うことができ、かつこれによりアンテナ40により生じるビームが予め定めた形態に整形され、かつマイクロ秒単位で指向されることを可能にする。このように、アンテナにより放射されるRFエネルギーは一時に多数の目標を追跡することができる。

図7に示される如き本発明の別の実施例は、アンテナ・アレイにおける個々の放射素子毎に1つの誘電格子50を含む。この格子は、1つの基底部分50aと基底部分50aから突出して相互に隔てられた複数の素子50bとを含む。隣接する各素子50b間の間隔により決定される固定された遅延時間を持つ、例えば強誘電体の薄膜から形成される格子50は、固定角度 θ でRFエネルギーを固有に放射する（あるいは、受取る）。この角度 θ は、誘電格子50を可変バイアス電圧ソース51からのバイアス電圧によりバイアスすることにより調整される。このような電圧制御される格子は、ソース51からリード52により格子50へ可変バイアス電圧を印加することにより、放射角度 θ の（1つの面における）変更即ち指向を可能にする。

図8には、 $x-z$ 面と $y-z$ 面の両面における放射角度 θ の指向を備えた2次元アレイ・アンテナが示される。格子54の2次元アレイ53が図8に示される。図7に示される如き格子50により形成される各格子の「パッチ」アンテナ素子55間の固定間隔が、第2の面における類似の放射角度を提供する。アレイ58、59に接続された電圧バイアス線56、57がそれぞれ格子の誘電率を変化させ、これによりアンテナを構成するアレイ58、59における各アンテナ素子55間の遅延時間を変化させる。

本発明の薄膜超伝導体／強誘電体技術もまた下記に使用することができる。即ち、

(1) 同調可能キャビティおよび共振器

- (2) 同調可能周波数および波長フィルタ
- (3) フェライト薄膜アイソレータ
- (4) 指向性のある結合スイッチ
- (5) パッチ・アンテナ用位相シフト・フィーダ
- (6) 共面線の中心導体として電圧同調された曲折線を用いる可変インピーダンスを持つ共面線
- (7) 同調可能な共振アンテナ
- (8) 同調可能な電氣的に小型なアンテナ、および
- (9) 比較的高いQを提供できる同調可能な1次元同焦点(同一焦点を有する)共振器

本発明による共面構造60が図9に示される。構造60は、 LaAlO_3 基板62と重合する強誘電膜61を含んでいる。HTSC(例えば、YBCOまたはTBCCO)材料の薄膜63が、チタン酸バリウム・ストロンチウム(BST)材料の如き強誘電体の膜61上に被着され、前記BSTの下面は LaAlO_3 (LAO)材料の上面と隣接している。

図10は、共面線68、69間に配置される共面線66、67を持つ半波長共振器を形成するYBCO材料の中心部66を有する同調可能な共面共振器構造65を示す。線66~69は、BST材料の誘電膜70上に被着される。例えば LaAlO_3 材料でよい基板71の厚さの変化は、BST材料の膜70の実効誘電率と、電圧ソース72により誘電膜71に印加される可変電圧によるこの誘電率の百分率の変化を修正する。

図11は、容量的に結合されたマイクロストリップ共振器80を示している。図11に示される寸法は例示である。この共振器は、それぞれ幅 W_1 の半導体(HTSC)材料のマイクロストリップ81、82を含む。薄膜の強誘電体のストリップ83は、ストリップ81、82間の間隔84に延在する。それぞれ幅が W_2 でかつ長さが L_2 のHTSC材料のストリップ85、86は、それぞれ長さ S_2 のストリップ81、82であるリード87、88により接続される。事例である図11の共振器80が $\epsilon_r = 24.5$ である約 0.43mm (約17ミル:mi1)

の LaAlO_3 (LAO) 上に被着されるならば、実効誘電率 ϵ_{eff} は略々20となる。

同調可能性のない図11の誘導的に結合された共振器90は、リード92、93によりHTSC材料のストリップ94、95にそれぞれ結合されたHTSC材料のストリップ91を含む。例えば、ストリップ85、86の各々は、 $1\text{mm} \times 1.27\text{mm}$ の面積を持つことができ、それぞれは例えばマイクロストリップ81、82から 1mm に配置することができる。例えば、ストリップ85、86間の間隔は、 1.3mm でよい。同調不能な共振器90が開口端部を持つ2つの平行間隔の導体を含む伝送線の部分に近似化されるならば、その共振周波数は、

$$f_n = c / \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} \times n / 2l$$

但し、

f_n は、2つの平行に隔てられた導体の共振周波数

c は、光の速度

ϵ_{eff} は、実効誘電率

n は、定数

l は、2つの平行に隔てられた導体間の空間

例えば、 $l = 9\text{mm}$ 、 $n = 1, 2, 3, \dots$ である場合、 f_n は略々、 3.7GHz 、 7.4GHz 、 11.2GHz 、などとなる。

ストリップ81、82と直列である薄膜強誘電ストリップ83は、HTSC材料のストリップ81、82間の間隔84に延在する薄膜強誘電体のストリップ83により形成される強誘電コンデンサ83Aを形成する。同調不能共振器80におけるコンデンサ83Aは、強誘電コンデンサ83Aの領域における大きな電流でこれら共振モードに影響を及ぼすことになる。これらは、非対称共振モード、即ち、上式における「 n 」が奇数のモードである。伝送線の分析で、これらモードの増加する共振周波数に対する超越方程式を生じる。即ち、

$$-1 / \tan K \cdot l / 2 = 1 / 2\pi Z_0 \cdot C / 2$$

但し、

C = キャパシタンス

Z_0 = 特徴インピーダンス ≈ 7

l = 共振器の実効長さ (開放端部間の長さ)

$k = \text{TEMモードに対して、} 2\pi f_n c / \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$

但し、

c は、光の速度

f_n は、共振モードの周波数

キャパシタンスが $C \sim 1 \text{ pF}$ であると推定される。これは、下記の共振周波数スペクトルを得る。即ち、

6.7 GHz、7.4 GHz、13.43 GHz、、、、

DCバイアスでは、6.7 GHz、13.43 GHz、、、、モードが電圧同調可能誘電率の変化により周波数が増加する。

図12および図13では、基板101a (図13参照) 上に被着された強誘電体101の薄膜を含む超伝導端部効果コンデンサ100が示される。HTSC材料の薄膜102、103は、強誘電薄膜101上に被着される。パッド104、105 (図12参照) は、リード107、108によりそれぞれ薄膜102、103に接続されている。可変電圧ソース106は、リード107、108 (図12参照) によりそれぞれパッド104、105に接続され、これにより薄膜102、103に跨がって接続される。強誘電体の薄膜101は、例えば、9mmだけ延長し、例えば3.73mmの幅を持つHTSC材料の薄膜102、103間に配置された幅「 t 」の端部効果キャパシタンス領域109を有する。薄膜102、103に跨がって可変電圧を加えることにより、強誘電体101の誘電率を同調することができる。

図14に示されるように、HTSC層A1は強誘電層A2上に被着され、このHTSC層は種々の構造A3を生じるように実質的にパターン化することができる。この形状においては、HTSC/強誘電境界A4は、前記層のC軸と直角をなし、これら層の面内に存在する。

図15に示されるように、HTSC層A1は、基板A5上に被着される強誘電層A2上に被着される。再び、HTSC/強誘電境界A4、および強誘電体/基

板境界A 6は、前記層の面内に存在する。

図16に示されるように、HTSC層A 1が強誘電基板A 7上に直接被着され、HTSC/強誘電体境界A 4が、これも前記層の面内に存在するHTSC/基板境界と一致している。

図17に示されるように、強誘電層A 2は、基板A 7上に被着されるパターン化されたHTSC層A 8（事例は、エッチング特徴A 9が示される）の頂面上に被着される。強誘電層A 2は、エッチング領域A 9を充填し、重合する強誘電層A 2とHTSC層A 8間にHTSC/強誘電体境界A 4を、強誘電層A 2とパターン化されたHTSC膜A 8の縁部間に境界A 10を形成する。強誘電膜A 2と結晶（即ち、膜）基板A 7（誘電体、絶縁体、強誘電体あるいは他の材料から作られる）との間の境界A 11もまた示される。

図18に示されるように、強誘電層A 12とHTSC層A 8は同じ面内に被着され、HTSC/強誘電体境界A 10が前記層の縁部に存在する。このような層は、種々の基板A 7上に被着することができる。

図19に示されるように、種々の基板A 1～A 9が組合わせにおいて示され、本発明の更に一般的な多層構造の一例を示し、種々のパターン化されHTSCとパターン化されないHTSCと強誘電層が相互の頂面に色々な順序で存在し、この構造全体が基板上に存在している。一般的構造においては、基板は、誘電体、絶縁体、強誘電体などを含む多くの材料のバルク結晶サンプル即ち膜から作ることができる。

先に述べた全ての層は、物理気相成長法、化学気相成長法、レーザー・デポジション、スパッタリング、ゾルーゲル法などを含む種々の技法により被着することができる。

図20では、強誘電体の薄膜113と隣接するHTSC材料の薄膜111、112を含む本発明の多層構成要素110が示される。強誘電薄膜113の下面は、HTSC材料の薄膜114の上面と隣接している。薄膜114の下面は、基板115の上面と隣接している。

図21は、本発明による相互に指状に組合ったコンデンサ構造120の平面図

である。HTSC材料の薄膜121、122は、それぞれ複数の突起121a、122aを有し、これら突起は相互に入れ子となることにより、構造120における曲折スロット123を形成する。図21および図22に示されるように、強誘電体の薄膜124は曲折スロット123と隣接する薄膜121、122の各部に重なり、このスロット自体へ延在している。この構造120は、薄膜124に跨がる予め定めた電圧の印加によってキャパシタンスの同調可能性を維持しながら、前記構造120のキャパシタンスの全体値を増加することを可能にする。

図23は、本発明による同調可能アンテナ130を示す。この同調可能アンテナは、HTSC材料の薄膜のハーフ・ループ131を含む。絶縁材料132、133の層は、ハーフ・ループ131を支持している。層132、133は、HTSC材料の薄膜134により分離される。HTSC材料の薄膜135は、ハーフ・ループ131に接続されている。強誘電体の薄膜136は、薄膜135と、基板138上に被着されるHTSC材料の薄膜140との間に被着される。その間に強誘電薄膜136を持つ薄膜135、140は、同調可能コンデンサ141を形成する。駆動信号ソース142は、薄膜140に接続されている。

図24では、図23のハーフ・ループ・アンテナ130の相等回路が示される。駆動信号ソース142は、同調可能コンデンサ141を介してハーフ・ループ・アンテナ素子131に接続されている。図24に示されるように、インダクタンス143および抵抗144は、抵抗Rの集合値であり、ハーフ・ループ・アンテナのインダクタンスLである。コンデンサ141に跨がるDC電圧の印加は、そのキャパシタンスを同調させ、従ってハーフ・ループ・アンテナ130およびコンデンサ141を含む回路の共振の周波数を同調させる。

図25を見れば、本発明による遅延／シフト要素216が示される。遅延／シフト要素216は、対向面222、220が、共通して電極と呼ばれる導体219と第2の導体221間にそれぞれ挟持されたチタン酸バリウム・ストロンチウムの如き誘電体の層218を含む。DC電界または低周波数電界が、第1の導体219と第2の導体221にそれぞれリード217A、217Bにより接続される可変バイアス電圧ソース223によってBST層218に跨がって配置される。

。

図34のカーブに最もよく示されるように、電界強さが0 kV/cm (キロボルト/センチメートル) から25 kV/cmになると、BST層218の誘電率、従ってキャパシタンスが略々500%変化する。誘電率におけるこの大きな変化は、誘電率に依存する電子的パラメータを同調させるために用いることができる。例えば、導波管における電磁波の速度は、この導波管を充填する材料の誘電率に依存する。このため、誘電性媒体における電磁波の速度に依存する同調可能遅延線、移相器および他の電子装置を、素子216を用いて構成することができる。本文の開示では、このような電子的デバイスは、簡単にするため遅延/シフト・デバイスと呼ぶ。また、用語「導波管」、「伝送線」および「電気回路」は、マイクロ波およびミリ波の分野で相互に交換可能に従来通り用いられ、本文ではそのように用いられるものとする。一般に、用語「伝送線」とは、処理される信号の波長がシステム構成要素のサイズと同じかそれより小さい程度である場合におけるように導波管を意味し、あるいは処理される信号の波長が回路構成要素のサイズよりはるかに大きい場合におけるように電気回路を意味するように用いられるものとする。

遅延/シフト要素216を用いるマイクロ波/ミリ波の遅延/シフト・デバイス224の一般的構造が図26に示される。これは、信号入力手段226、一般に破線で示される伝送線225の一部をなす遅延/シフト要素216、信号出力手段227、および遅延/シフト・コントローラ223を含む。信号入力手段226は、典型的には、電気信号、即ち電磁波の形態で接続する端子226A、電磁波ソースに対する結合部、変成器、および電磁波228を伝送線225へ導入する偏波器を含む。これはまた、図面には示されないが、信号ソース即ち電磁波ソースをも含み得る。用語「信号入力手段」とは、電気信号を遅延/シフト要素216へ入力する何か、特に遅延/シフト要素216における誘電体218として広義に解釈されるべきである。「信号を誘電体へ入力する」ことは、この信号が誘電体を通過するかあるいは他の状態で相互作用して、誘電体の誘電率がこの信号を同調し得るように、信号が入力されることを意味する。遅延/シフト・コントローラ223は、図25に示される如く可変電圧ソース223であることが

望ましい。図26に示されるように、電磁波228は遅延／シフト要素216により遅延され即ち移相され、次に信号出力手段227を介して遅延／シフト装置224から出力され、前記信号出力手段は偏波器、変成器、およびマイクロ波またはミリ波システムの更に他の要素に対する結合部を含むことが望ましい。再び、これはまた、単に端子をも含み得る。遅延／シフト装置224はまた、温度コントローラ229をも含むことが望ましい。温度コントローラ229は、遅延シフト要素216の温度を予め定めた温度、例えば50Kと110K間に維持する液体窒素低温装置の如き冷却装置であることが望ましい。

遅延／シフト要素216を示す図25、および伝送線または導波管を示す図27および図33の如き図面は、実際の電子装置の特定部分の実際の断面図または他の図であることを意図するものでないことを理解すべきである。このため、図25、図27および図33は、他の方法で可能であろうよりも更に明瞭かつ完全に本発明の構造および方法を示すために用いられる単に理想化された表示に過ぎない。同様に、信号入力手段226、信号出力手段227および遅延／シフト要素216は、先に述べかつ以降に述べるもの以外の多くの構造を持ち得ることを理解すべきである。例えば、処理される信号の波長と比較して小さいマイクロ回路の場合、入力手段226および出力手段227はそれぞれ単に電氣的端子からなるものでよい。

遅延／シフト要素216は、広範囲の電子的装置で 사용할 ことができる。これらの電子的装置は、同調可能遅延線、同調可能フィルタ、整合ネットワーク、発振器、ループ・アンテナ、指向性結合器、1次元の共焦点共振器を含む同調可能共振器、同調可能キャビティ、同調可能周波数および波長フィルタ、フェライト薄膜アイソレータ、指向性結合スイッチ、パッチ・アンテナ用の移相フィーダ・ネットワーク、共面線の中心導体として電圧同調された曲折線を用いる可変インピーダンスを持つ共面線、同調可能共振器アンテナおよび同調可能な電氣的に小型のアンテナの如き同調可能アンテナ、フェーズドアレイ・アンテナ用移相器、アンテナ・アレイにおける個々の放射素子用誘電格子、端部効果コンデンサ、および他の多くの構造を含む。このような構造は各々、従来のハイブリッド回路形

態ならびにモノリシック・デバイスおよび集積回路の形態で作ることでもある。

本文の開示において、「薄膜」とは、望ましくは10ミクロン以下の厚さの膜を意味する。本文の開示において、用語「電氣的」とは、電気用語ならびに用語「電磁」および「電子」に含まれる全てのものの通常の意味を含む広範用語であることが意図される。

次に本発明の更に詳細な記述に移り、遅延／シフト要素216（図25）は、誘電体218に電界を印加するための誘電層218および電氣的バイアス手段217を含むことが望ましい。電氣的バイアス手段217は、第1の導体219、第2の導体221、およびこれら導体を典型的には調整可能DCおよび（または）低周波電圧ソースである可変電圧手段223に接続するための電氣的接続手段217Aを含むことが望ましいが、この電氣的バイアス手段217は、唯一つの電極219および唯一つの接続ワイヤ217Aを含む、即ち、遅延／シフト要素216は単一電極219および誘電層218の形態で作ることができ、この要素216は、同調される最終装置を製造するより以降の段階で、第2の電極221として働く接地面へプレスされる。望ましい実施例においては、誘電層218は、チタン酸バリウム・ストロンチウム（BST）、チタン酸バリウム（BaTiO₃）、ニオブ酸リチウム（LiNbO₃）、チタン酸鉛ストロンチウム（Pb（SrTiO₃））、チタン酸鉛（PbTiO₃）その他の如き強誘電体である。図面に示された実施例においては、誘電層はBSTであり、薄膜218の形態を呈する。導体219および221は、サンドイッチ構造を形成するようにBST層218の対向面220、222と接触する薄膜層として形成されることが望ましいが、導体は、これらがBST層218に電界を印加できるように構成されるものとして、ある距離だけBST層218から分離される。望ましい実施例では、導体219、221は、従来の導体、即ち、プラチナ、銀およびタングステンの如き超伝導体ではない導体でもよいが、Y-Ba-Cu-O（YBCO）またはTi-Ba-Ca-Cu-O（BCCO）の如き超伝導体から作られる。一般に、導電層219、221は、例えば、表面220、222に直接接するチタンまた

はクロームの接着層、および接着層と接触するプラチナまたは金の層の如き、異なる導体の幾つかの薄層から作られる。電極その他の導電素子のためのこのような多層構造は、当技術においては周知であり、従って、本文では詳細には論述しない。導体219、221を電圧ソースに接続する手段217Aは、典型的に、集積回路におけるワイヤリング層、ハイブリッド回路におけるトレース、電圧ソースを接続させる素子216上の端子、あるいは単に溶ダ点を含む。

望ましい実施例においては、BST層218は、構造式 $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ を持つチタン酸ストロンチウムであり、ここで、 $0.01 \leq x < 0.2$ であることが望ましい。0.1に略々等しいxの値が、誘電率における最も大きな変化を生じることが発見された。導体219、221に跨がって接続された可変バイアス電圧ソース223は、誘電率を変化させるため望ましくはゼロ乃至 25 kV/cm の範囲内の可変電界をBST層218に跨がって提供する。図26に示されるように、遅延/シフト要素216が信号入力手段226と信号出力手段227との間に接続された伝送線225に配置される時、可変バイアス電圧ソース223はBST層の誘電率と共に変化する遅延、シフトまたは他のパラメータを制御する遅延/シフト・コントローラ223となる。

図27は、処理される信号の波長が電子構成要素232、235A、236A、233などと同じかあるいはこれより小さい、本発明による遅延/シフト要素216Aを用いるマイクロ波/ミリ波遅延/シフト装置230を示す。装置230は、ハウジング231と、信号を装置230に結合する信号入力232と、一般に当該装置では導波管と呼ばれる伝送線233と、装置230からの信号出力を外部の導波管（図示せず）に結合する信号出力234と、入力信号を導波管230を容易に通過するものへ変換する変成器235Aと、導波管233から出た信号を外部の導波管（図示せず）により使用できる形態へ変換する変成器235Bと、信号が到達してこれを偏波する時、信号が導波管233から出る時に偏波する偏波器236Aおよび236Bとを含んでいる。当該実施例では、導波管233は、第1の導体219Aと、第2の導体221Aと、BST層218Aとを含む遅延/シフト要素216を含んでいる。ワイヤ238Aおよび238Bは、導

体219Aおよび221Aをそれぞれ遅延シフト・コントローラ223（図26に示される）に接続する手段を提供する。コントローラ223により導体219Aおよび221Bに跨がる電圧を変化させることで、BST層218Aの誘電率を変化させ、これにより導波管233内で移動する信号の遅延および（または）位相を変化させることによって信号を同調する。遅延／シフト装置230においては、チタン酸バリウム・ストロンチウムが、伝送線233に分布したキャパシタンス内の誘電体を含む。

図29は、本発明による遅延／シフト要素216B乃至216Eを用いるマイクロ波／ミリ波遅延／シフト装置250を示し、これにおいては、処理される信号の波長が電子構成要素よりもはるかに大きな。装置250は、処理される信号を装置250へ結合する信号入力252と、当実施例では全体的に回路253と呼ばれる伝送線253と、装置250による信号出力を外部の回路（図示せず）へ結合する信号出力254とを含む。伝送線253は、可変コンデンサ216B乃至216Eの集中回路と、誘導子256A、256B、256Cとを含み、このような回路は時に「人工的」伝送線と呼ばれる。可変コンデンサ216B乃至216Eの各々は、図25における223の如き可変電圧ソースを有する図25における216の如き遅延／シフト要素である。可変コンデンサ216B乃至216Eを同調することで、コンデンサの誘電率を変化させ、またこれにより伝送線253を同調してこれを通過する信号を遅延および（または）位相シフトし、これにより信号を同調する。

図27における装置230または図29における装置250のいずれか一方がマイクロ波集積回路（MIC）または他のマイクロデバイスとして構成されるならば、伝送線233および（または）253は、図28に示される如きマイクロストリップ・デバイス240として構成することができる。マイクロストリップ・デバイス240は、デバイス240における第1の導体である接地面219Bと、第2の導体として働くマイクロストリップ221Bと、導体を分離するBST層218Bとを含む。この場合、遅延／シフト・コントローラ223（図26）が、BST層218Bの誘電率を変化させるため、接地面219Bに跨がって可変電

圧を印加する。

次に図30乃至図33において、本発明によるBST材料をテストするテスト装置260、270および280が示される。図30は、本発明によるBST材料のバルク・キャパシタンスを測定するコンデンサ装置260を示す。この装置は、BSTの細いストリップ262によりこれも半円形の薄板である第2の導電性電極266から分離された半円形の薄板の形態における第1の導電性電極264を含む。可変バイアス電圧ソース268が、電圧を電極264、266へ加えてBSTストリップ262に可変電界を生じる。

図31は、本発明によるBST材料の薄膜特性を測定するため用いられる指状に相互に組合った薄膜コンデンサ装置270を示す。この装置は、第1の導電性電極274と第2の導電性電極276とを含み、これら電極はそれぞれ273と277の如きフィンガを持ち、これらが相互に組合い基板279上に形成された薄膜により分離される。可変バイアス電圧ソース278が、電圧を電極274、276へ加えてBSTストリップ272に可変電界を生じる。

図32および図33は、移相器における本発明のBST材料の有効性をテストするため用いられた本発明による共面導波路移相器要素280を示す。移相器要素280は、基板289上に形成された第1の薄膜導体284と第2の薄膜導体286とを含む。第1の薄膜導体284は、2つの部分284Aおよび284Bに形成される。導体284および286は、基板289上に膜を被着して、これを薄い線形部287Cにより接続された漏斗部287Aおよび287Bの形態のギャップ287を各端部に形成するようにエッチングことによって形成される。ギャップ287は、導体286により分けられた2つの部分287D、287Eに形成される。BSTの膜282が次にギャップ部287D、287Eに被着される。このBST膜は、図33に最もよく示されるようにいずれかの側の導体284および286と重なるが、この重なりはギャップ部287D、287Eが充填されることを保証する製造手法に過ぎない。当該実施例においては、信号入力手段280Aは、内側導体292と外側導体294とを有する同軸ケーブル290である、内側導体292は第2の導体286に接続されるが、外側導体は第

の導体284の部分284A、284Bに接続される。同様に、信号出力手段280は第2の導体286に接続された内側導体296と、第1の導体部分284A、284Bに接続された外側導体298とを持つ同軸ケーブル295である。以下に述べるテストにおいて、可変バイアス電圧ソースを含む遅延/シフト・コントローラ223（図26）が、同軸ケーブル290を介して導体284、286にDC電圧を加えてBST膜282に跨がって電界を生じ、このDC電圧および電界が膜282の誘電率を変化させるため変更され、これにより共面移相器要素280を流れる信号の位相をシフトし、これにより信号を同調する。

次に図34において、図30に示された如きBSTコンデンサに対する5つの電界強さに対するキャパシタンス対温度カーブが示される。サンプル・コンデンサ260は、0.71mmの厚さ t 、0.8mmの直径 D 、および0.08mmのBSTストリップ262の幅 d を有する。電極264、266は、YBCO超伝導体から作られ、BSTは $Ba_{0.1}Sr_{0.9}TiO_3$ であった。電圧ソース268により与えられる0kV/cm、3.125kV/cm、6.25kV/cmおよび25kV/cmの電界が、コンデンサ260に跨がって配置され、ピコファラッド単位のキャパシタンスが約40K乃至150Kの範囲の温度として示される地点で100KHzの周波数で測定された。電界が増加するに伴ってピーク値が更に高い温度へ移動して、カーブの各々が86Kと88Kとの間でピークとなった。このピーク・キャパシタンスは、0kV/cmにおける約2690pfから25kV/cmにおける約450pfまで減少した。このことは、約500%の変化を表わす。この変化は、先に引用したVaradanの論文でレポートされた16%乃至50%の変化、および先に引用したJacksonの論文「強誘電体と高温超伝導体を組合わせる新規なモノリシック移相器 (Non-volatile Monolithic Phase Shifter Combining Ferroelectrics and High Temperature Superconductors)」において可能であるとレポートされた10%乃至20%の変化と比較して非常に大きい。

図35は、図30に示された如き $Ba_{0.09}Sr_{0.91}TiO_3$ コンデンサに対す

る5つの電界強さに対するキャパシタンス対温度カーブを示す。サンプル・コンデンサ260は、1.05mmの厚さ t と、2.12cmの直径 D と、0.08mmのBSTストリップ262の幅とを持っていた。電極264、266は、YBCOから作られ、BSTは $\text{Ba}_{0.09}\text{Sr}_{0.91}\text{TiO}_3$ であった。0kV/cm、3.125kV/cm、6.25kV/cm、12.5kV/cm、および25kV/cmの電界が、コンデンサ260に跨がって配置され、ピコファラッド単位のキャパシタンスが約46K乃至120Kの範囲の温度として示される地点で100KHzの周波数で測定された。各カーブは78K乃至81Kの間でピーク値となり、電界が増加するに伴いピーク値がより高い温度へ移動した。ピーク・キャパシタンスは、0kV/cmにおける約4150pfから25kV/cmにおける約1600pfへ減少した。このことは、先に述べた $\text{Ba}_{0.1}\text{Sr}_{0.9}\text{TiO}_3$ サンプルに対する変化より著しく小さい約150%の変化を示すが、依然として従来技術と比較して非常に大きい。この差異の主たる原因は、BST組成における1%の変化によるものと信じられる。このことは、遅延/シフト要素216が印加電圧により同調され得る許りでなく、この組成もまた所望の遅延または位相シフトを生じるように「同調」することもできることを示す。これは、整合パラメータが重要であるマイクロ波領域では非常に重要である。図24と図25を比較すると、バリウム成分を減じストロンチウム成分を増すと、ピークがより低い温度になることが明らかである。このため、遅延/シフト要素216は、温度を変えることにより所望の位相または遅延に「同調」することもできる。

図36は、図31に示される如き $\text{Ba}_{0.08}\text{Sr}_{0.92}\text{TiO}_3$ 薄膜コンデンサに対する6つの電界強さに対するキャパシタンス対温度カーブを示す。フィンガ273、277の幅、即ち、図31における垂直方向における寸法は7600Åであり、これはBSTストリップ272の厚さでもあった。薄膜は約6000Åの厚さ、即ち、図31における用紙の方向であり、電極274、276はYBCOから作られ、基板79はアルミン酸ランタンであった。0kV/cm、13kV/cm、26kV/cm、39kV/cm、53kV/cmおよび66kV/cmの電界が、約20K乃至300Kの範囲の温度として示される地点において1

00 KHzの周波数で測定された。各カーブは70 K乃至90 Kの間でピークを示し、電界が増加するに伴いピークはより高い温度へ移動する。ピークは、0 kV/cmにおける約6.5 p fから66 kV/cmにおける約5.9 p fまで減少した。このことは、先に述べたバルク・サンプルに対する変化より著しく小さい約10%の変化を表わすが、従来技術において述べられたバルク・サンプルに対して変化と略々同じ大きさである。この差異の主たる原因は、薄膜によるものと信じられる。即ち、表面電荷の如き薄い材料表面の効果が優勢となる。従来技術で公開されたバルク結果が同様に減少することが予期されるため、薄膜の結果が従来技術におけるバルク・デバイスに対する結果と略々等しいため、図12の結果が真の到達点である。このため、初めて、この材料の同調可能性が実用的なMIC遅延線または移相器として十分に大きい。

図37は、図31に示された如き $\text{Ba}_{0.08}\text{Sr}_{0.92}\text{TiO}_3$ 薄膜コンデンサに対する4つの電圧に対するキャパシタンス対温度カーブを示し、このコンデンサがフィンガ273、277の幅を除いて先に述べたものと同じであり、BSTストリップ272が約4500 Åであった。このため、このコンデンサは、図36のコンデンサの大きさの約60%であった。同図はまた、3つの他の電圧に対するキャパシタンス/温度カーブにおける1つの点を示す。0 V、5 V、10 Vおよび20 Vの電圧がコンデンサ270に跨がって置かれ、ピコファラッド単位のキャパシタンスが40 K乃至300 Kの範囲の温度として示される地点で100 KHzの周波数で測定された。各カーブは約82 Kでピークを示し、電界が増すに伴うピークのシフトはそれほど明瞭でない。30 V、40 Vおよび50 Vの電圧に対する82 Kのキャパシタンスに対する点も得られた。ピーク・キャパシタンスは、0 kV/cmにおける約6.67 p fから66 kV/cmにおける5.96 p fまで減少した。ピーク・キャパシタンス値の各々に対するキャパシタンスの変化率が各カーブ毎に、30 V乃至50 Vの測定に対する個々のテスト点に対して示される。最大変化は約10.7%である。

図38は、図36のカーブを得た際に用いた同じコンデンサ、電界強さおよび周波数に対する損失の正接対温度のカーブを示す。このカーブは、損失の正接が

ピーク・キャパシタンスと略々同じ温度で局部極小を有することを示す。全体の損失の正接は、約 2×10^{-2} 乃至 4×10^{-2} の範囲内にあり、これは、超伝導体ではなく通常の導体により通常用いられる従来技術のガリウムヒ素の同調可能マイクロ波装置に関してレポートされる略々範囲である。このため、図25および図26に示される如きBST遅延/シフト要素223を、超伝導電極の有無に拘わらず使用することができる。誘電率における最も大きな変化が高温超伝導体の温度範囲内にあるので、超伝導体を図25に示される如き導体219、221などとして使用することが、必要ではないが望ましい。

図39は、図32および図33の移相器に対する位相角および実効誘電率対電界強さの測定された変化を示している。導体284A、284Bおよび286はYBCOから作られ、BSTは $\text{Ba}_{0.08}\text{Sr}_{0.92}\text{TiO}_3$ であり、基板289はアルミン酸ランタンから作られた。移相器の導波管の長さ、即ち、図32の水平方向における導体284、286を横切る距離は約133mmであり、図33の水平方向におけるギャップ部分287Dおよび287Eの各々におけるBST282の厚さは約5ミクロンであり図9の垂直方向における導体膜284A、284B、286の厚さは約6000Åであった。位相シフトは、Hewlett Packard社のモデルHP8510ネットワーク分析器を用いて、10GHz（ギガヘルツ）の周波数で π 単位で測定された。この結果は、0kV/cm乃至6kV/cmの電界の変化にわたる約 0.7π 即ち 126° の変化を示す。典型的には、移相器においては、約 90° 以上の変化を求め、その結果位相シフトは実際の装置の範囲内に十分に含まれる。同じ電界強さ範囲において、誘電率は約14.5乃至約25、あるいは約30%にわたり変化する。

本発明のBSTおよび他の薄膜は、物理気相成長法、化学気相成長法、レーザ・デポジション、スパッタリング、ゾルーゲル処理、および他の多くのプロセスを含む方法で作ることができ、またイオン・ミリング、化学的エッチング、などの多くの公知のMICパターン化プロセスによってパターン化することができる。特に、図30、図31および図32の装置のYBCOはレーザ・アブレーション（laser ablation）により被着され、BSTはゾルーゲル法によっ

て被着された。装置は、化学的湿式エッチングを用いてパターン化された。これらのプロセスは全て当技術において周知であり、従って本文では詳細には論述しない。

従来技術のBST装置よりはるかに同調可能である誘電率を持つ薄膜BST材を用いる新規な同調可能な誘電率の電子装置を記述した。図面に示し本明細書内に記述した特定の実施例が例示のためであって、以降の請求の範囲に記載される本発明を限定するものと解釈すべきでないことを理解すべきである。更に、当業者が本発明の概念から逸脱することなく、本文に記載した特定の実施例の多くの使用および修正が可能であることは明瞭である。例えば、かかる大きな同調可能性を持つBST材が開示される以上、同材の他の多くの応用が可能である。相当する構造およびプロセスを本文に述べた構造およびプロセスに代えることができる。更なる特徴および薄膜層を付加することもできる。あるいは、種々の異なる寸法および導体材料を使用することもできる。多くの他の変更が可能である。

本発明の利点、ならびにその開示された実施例の変更および修正については、当業者には容易に明らかになるであろう。本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく開示の目的のため本文に選択され本発明の実施例に対して可能である全てのかかる変更および修正を請求の範囲において網羅することは出願人の意図するものである。

【図1】

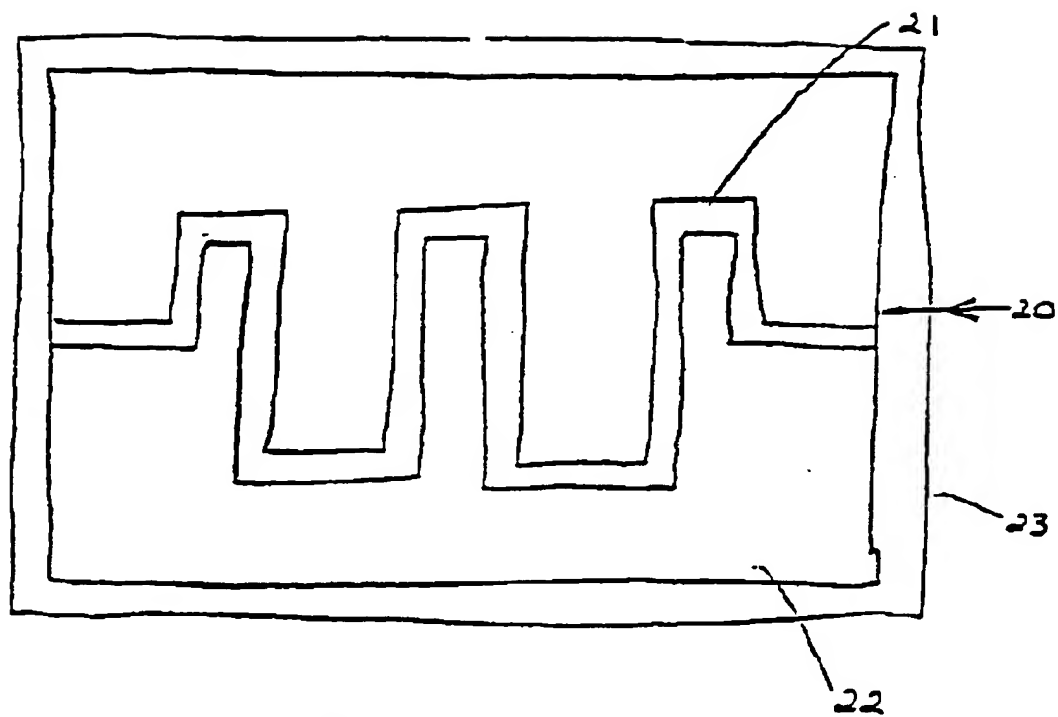


FIG. 1

【図2】

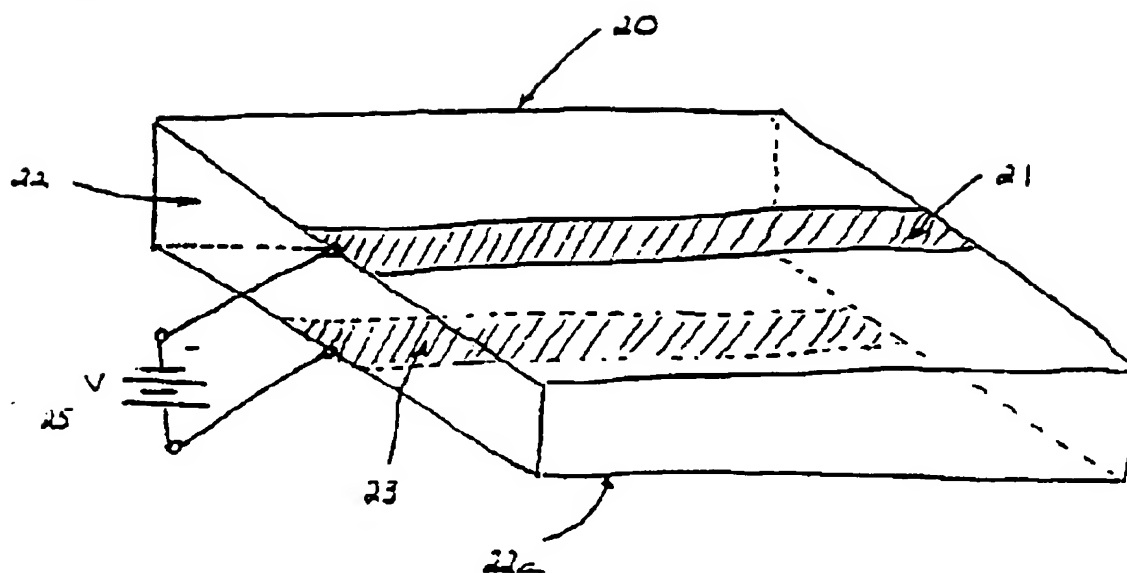


FIG. 2

【図3】

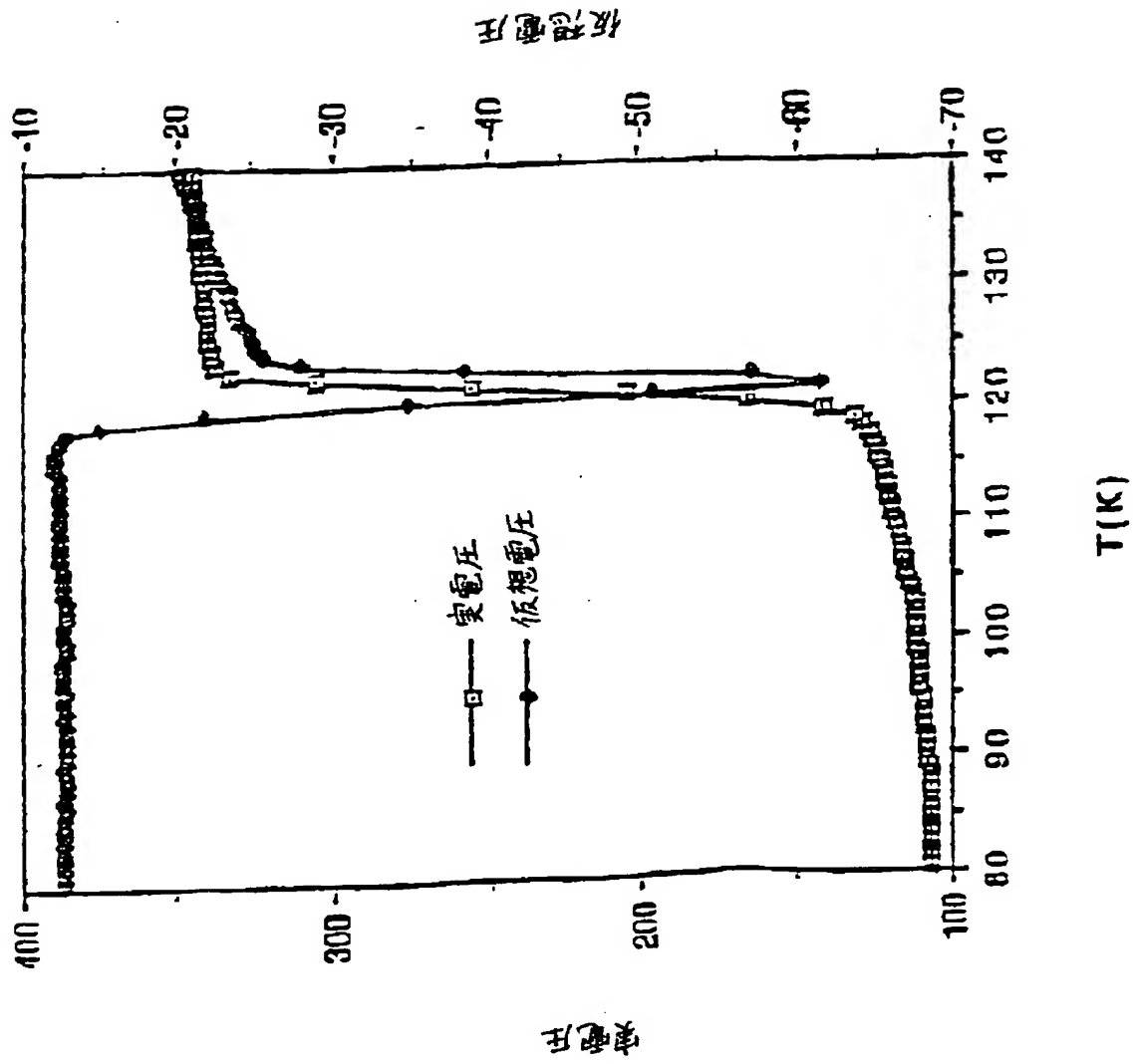


FIG. 3

【図4】

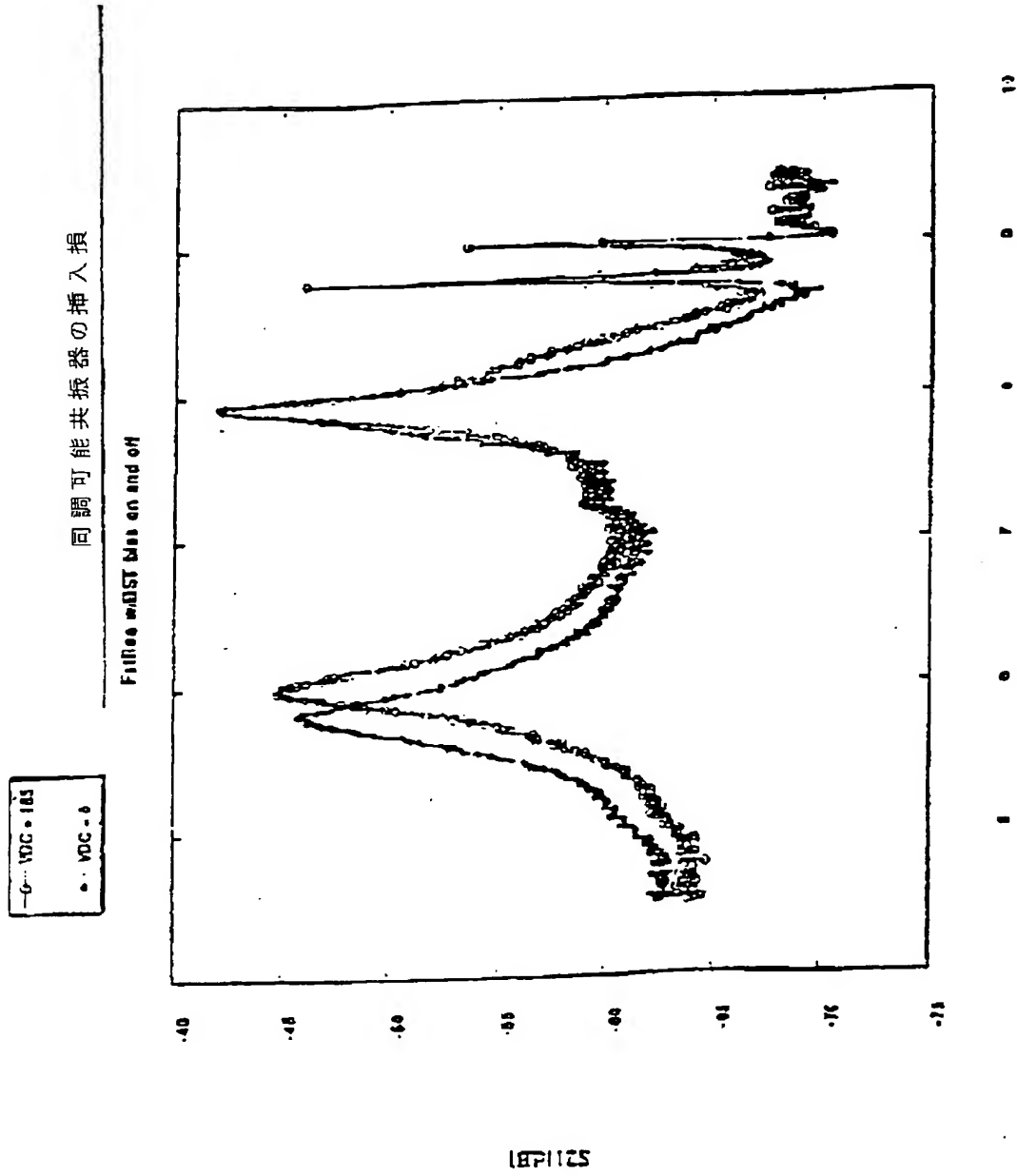


Figure 4

【図5】

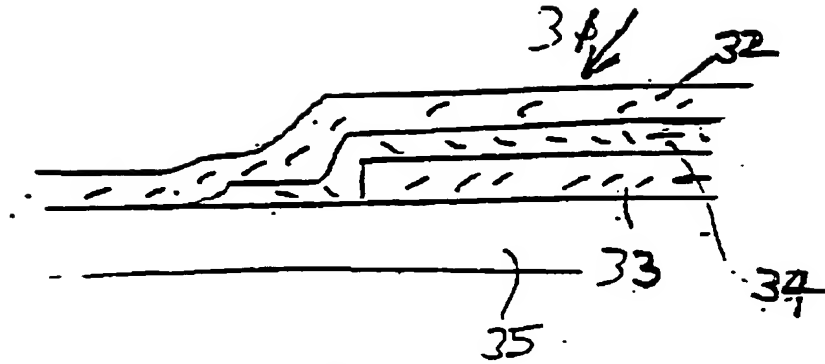


FIGURE 5

【図6】

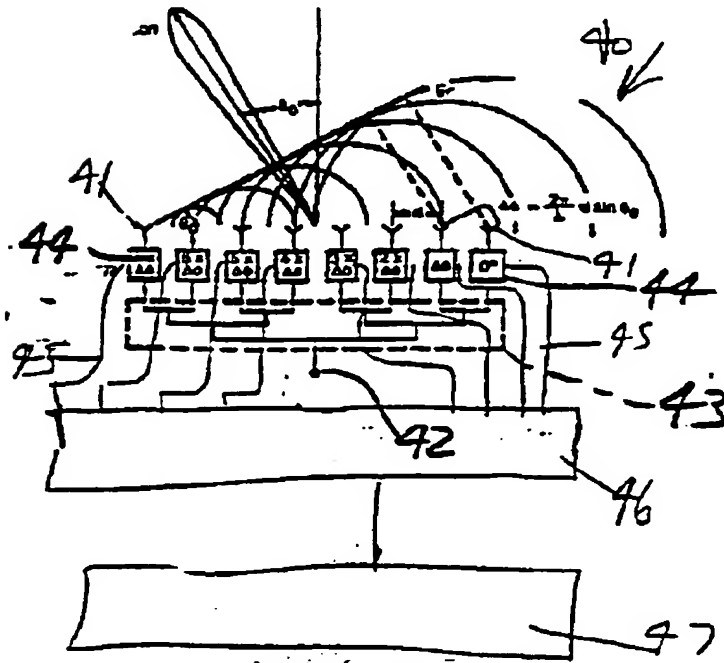


FIG. 6

【図7】

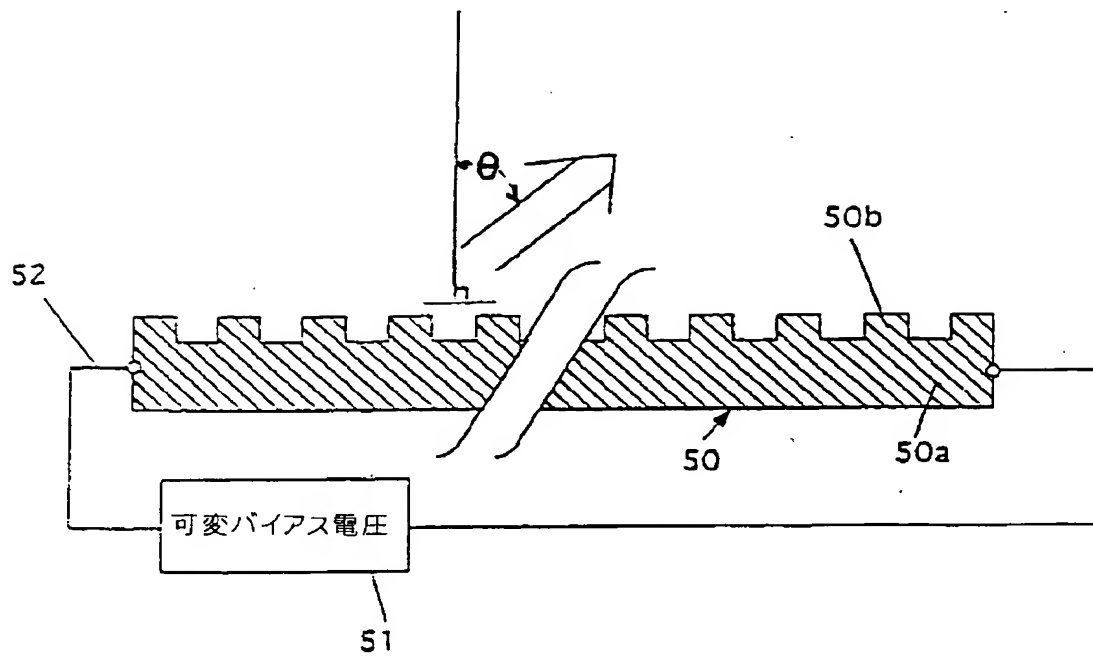


Figure 7

【图8】

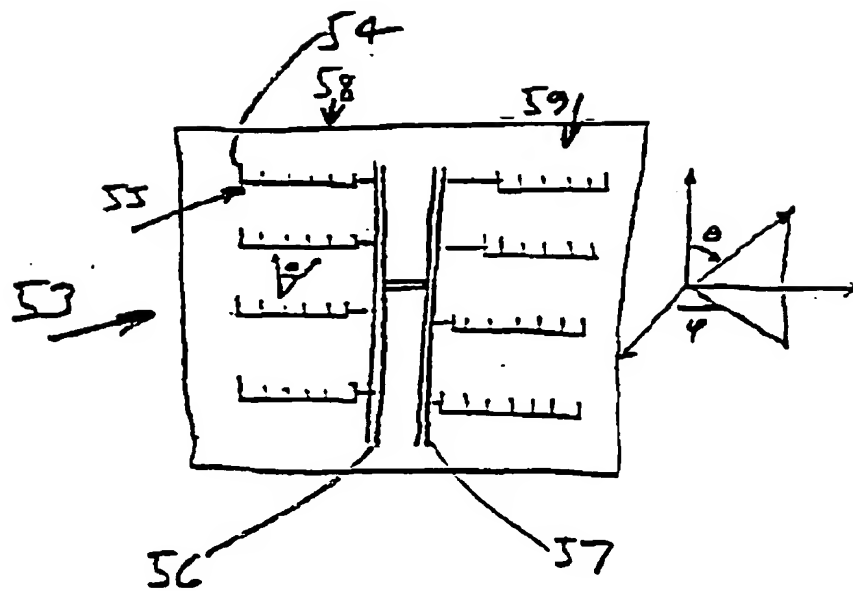


FIGURE 8

【図9】

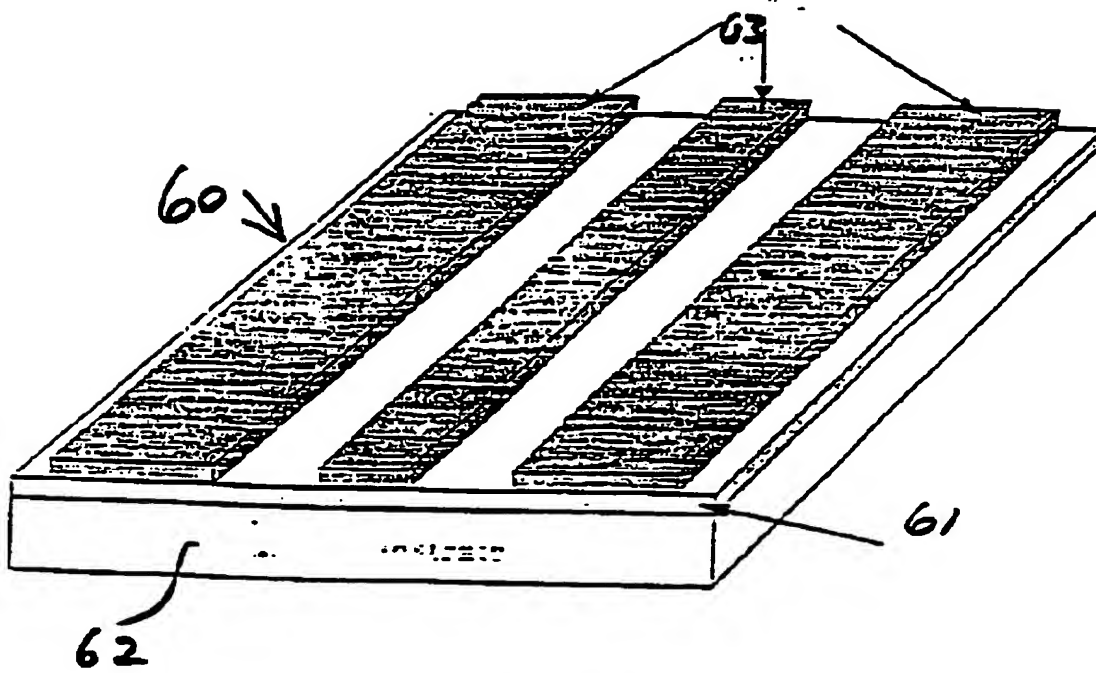


FIGURE 9

【図10】

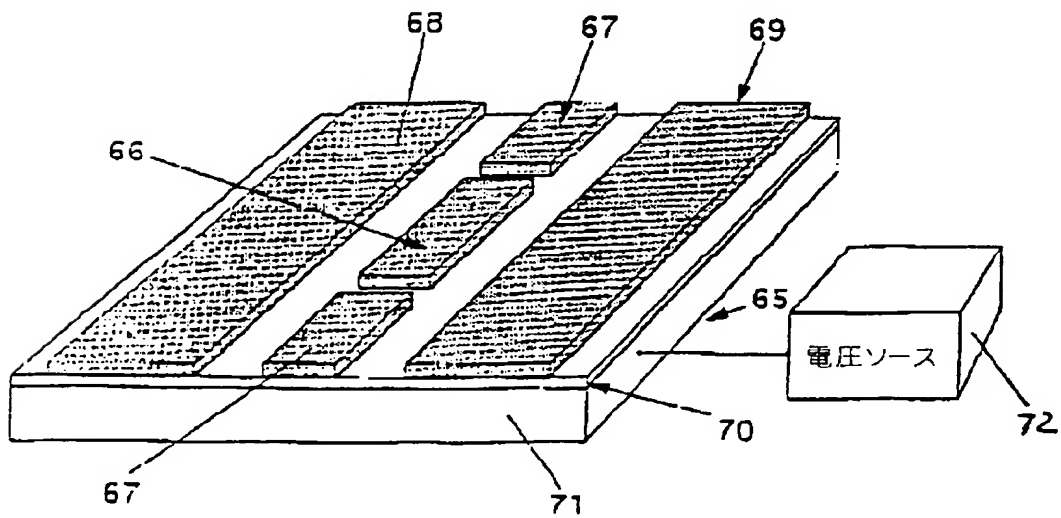


Figure 10

【図11】

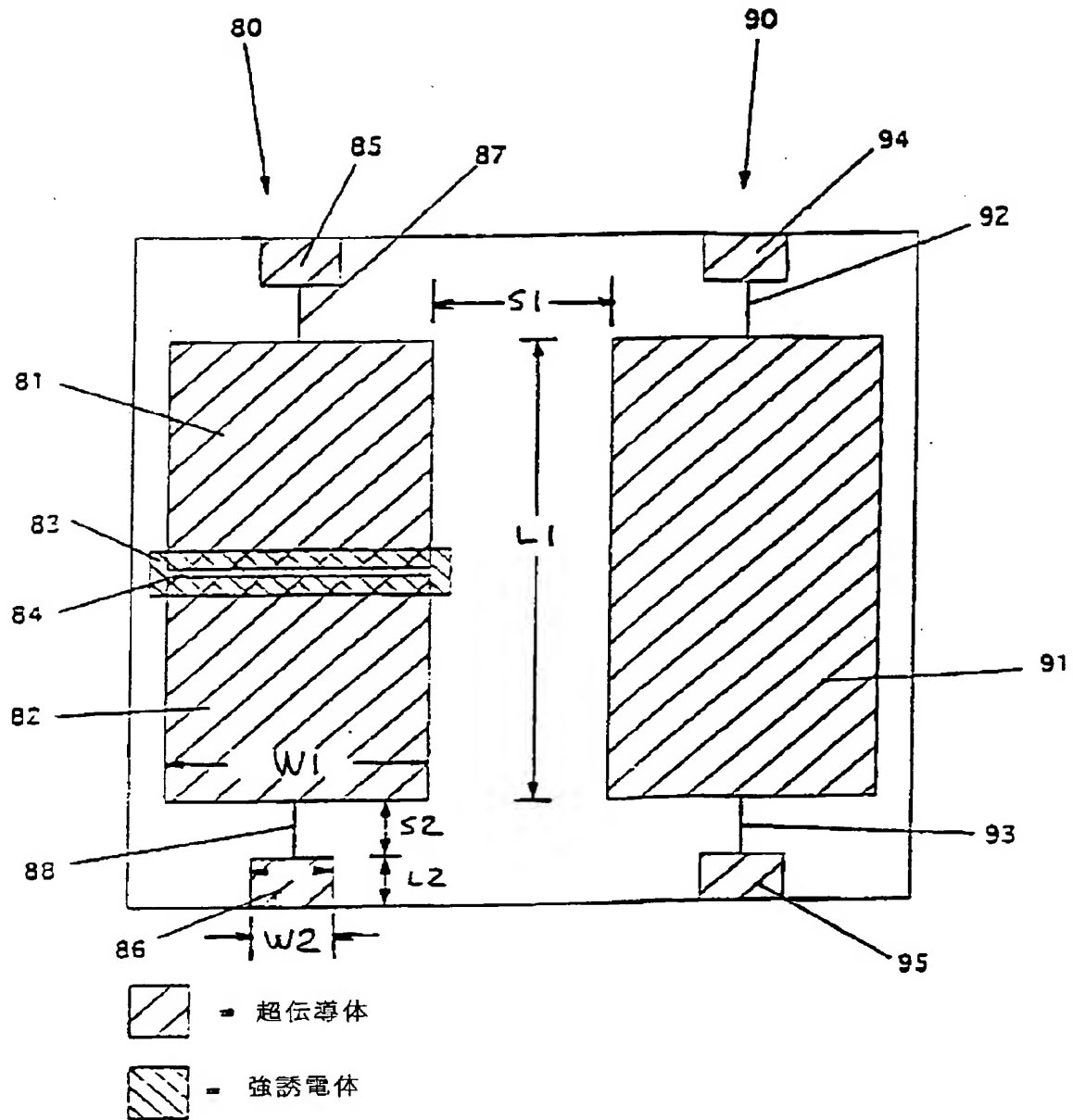
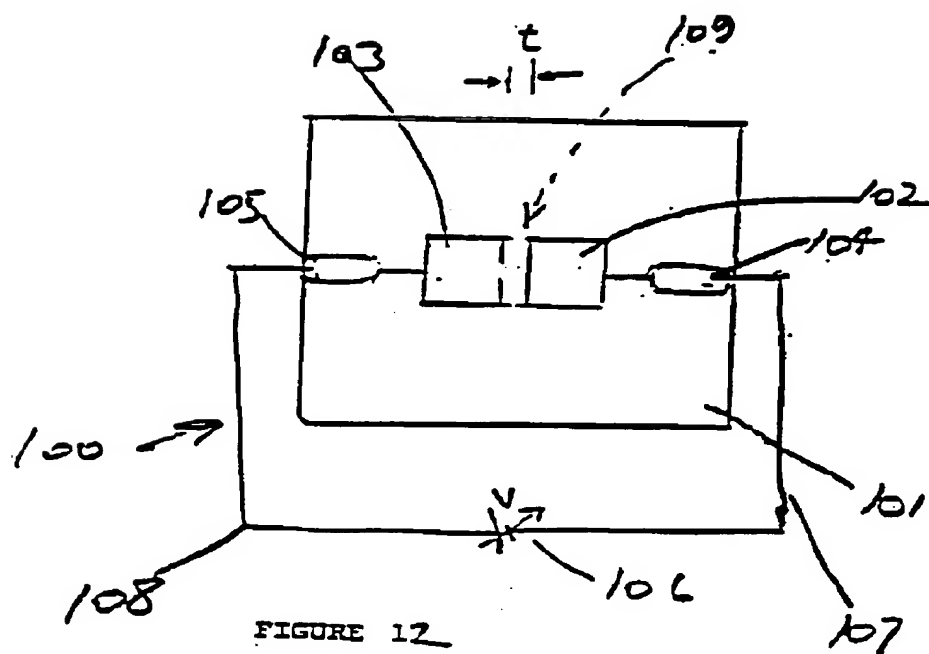
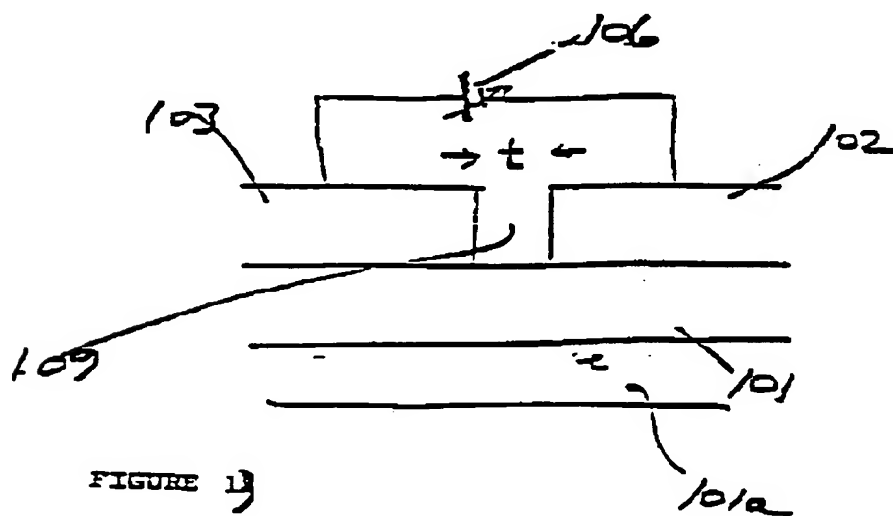


Figure 11

【図12】



【図13】



【図14】

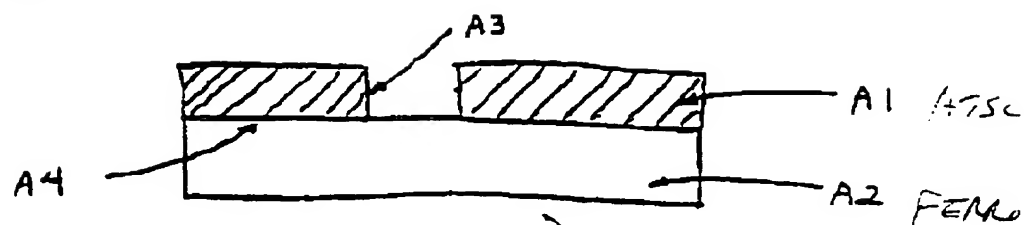


FIG. 14

【図15】

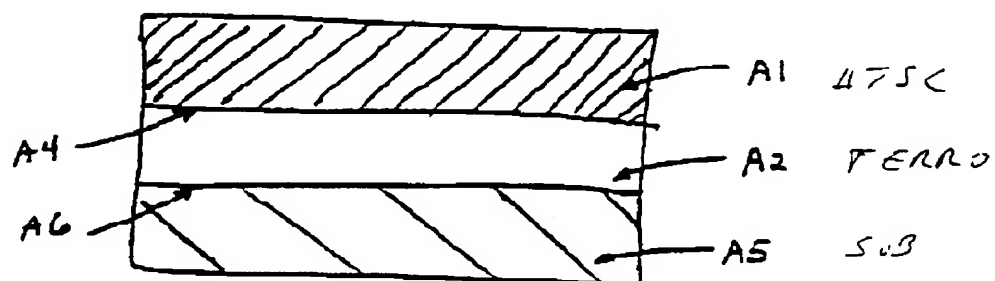


FIG. 15

【図16】

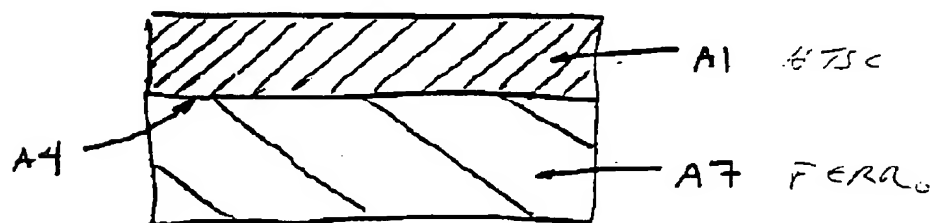


FIG. 16

【図17】

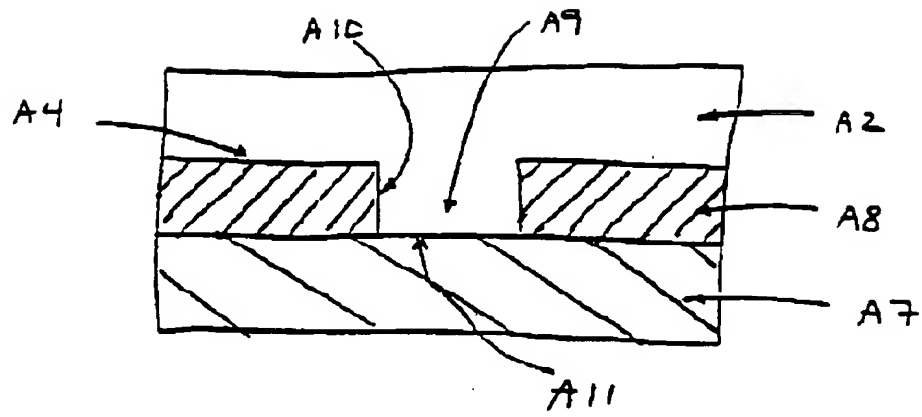


FIG 17

【図18】

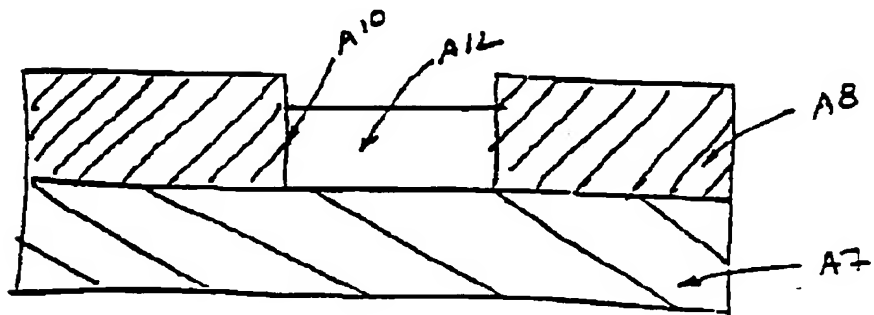


FIG 18

【図19】

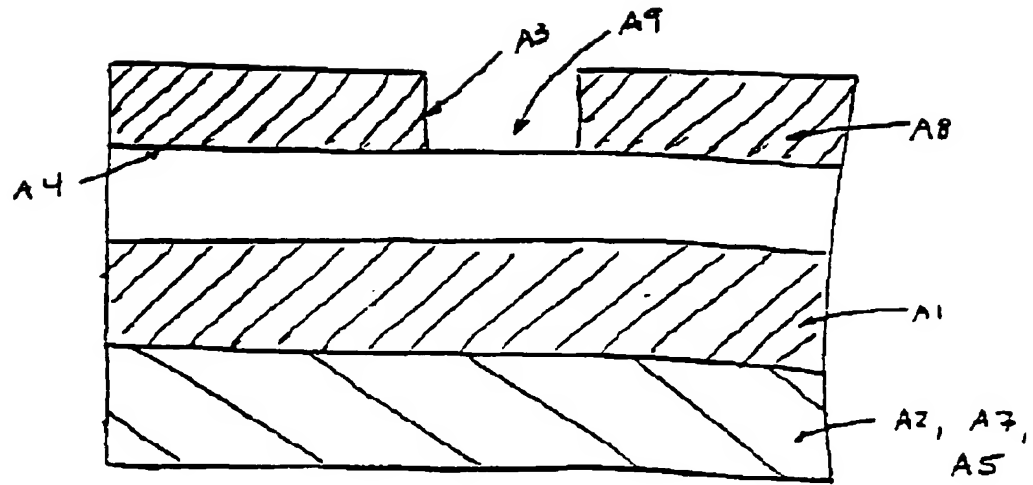
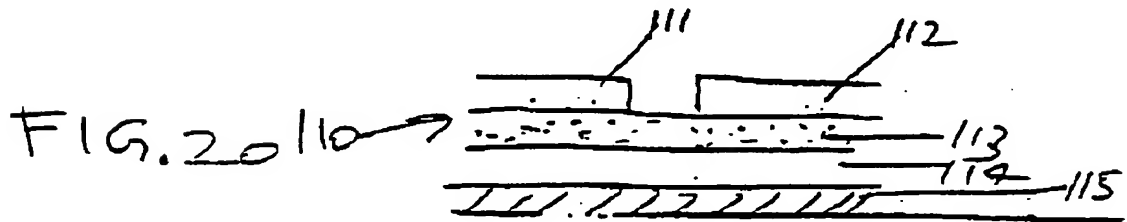
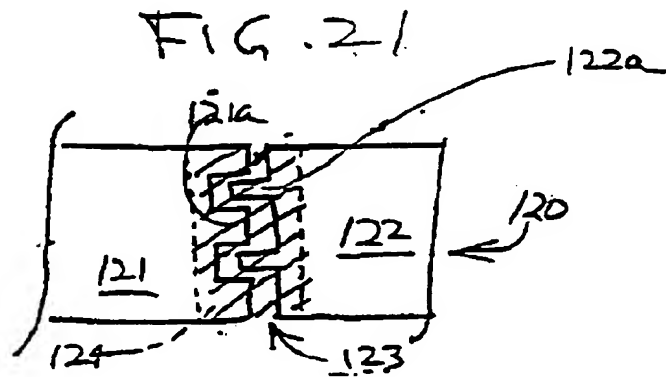


FIG. 19

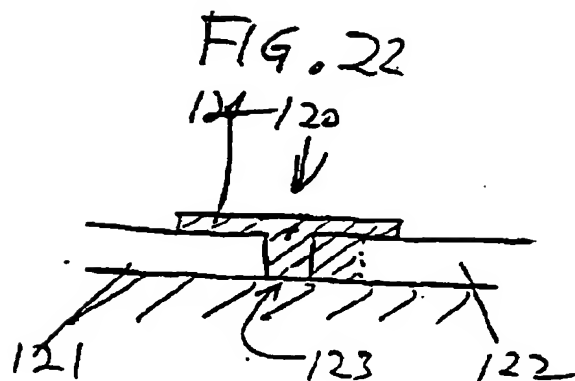
【図20】



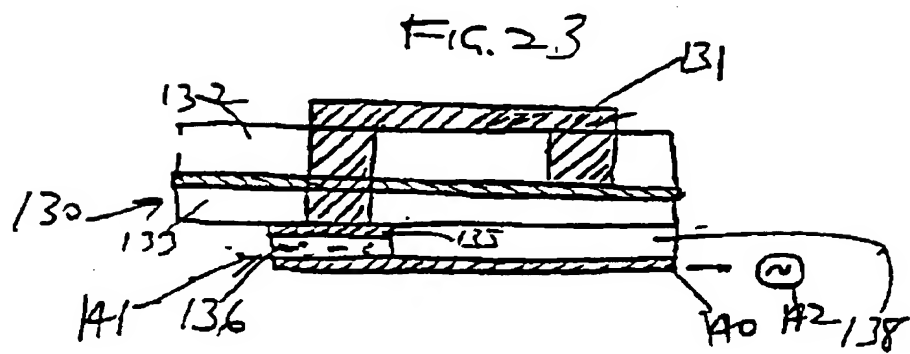
【図21】



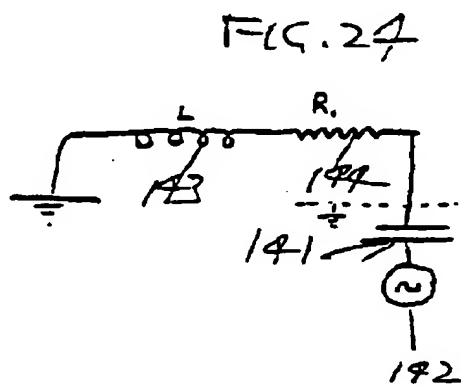
【図22】



【図23】



【図24】



【図25】

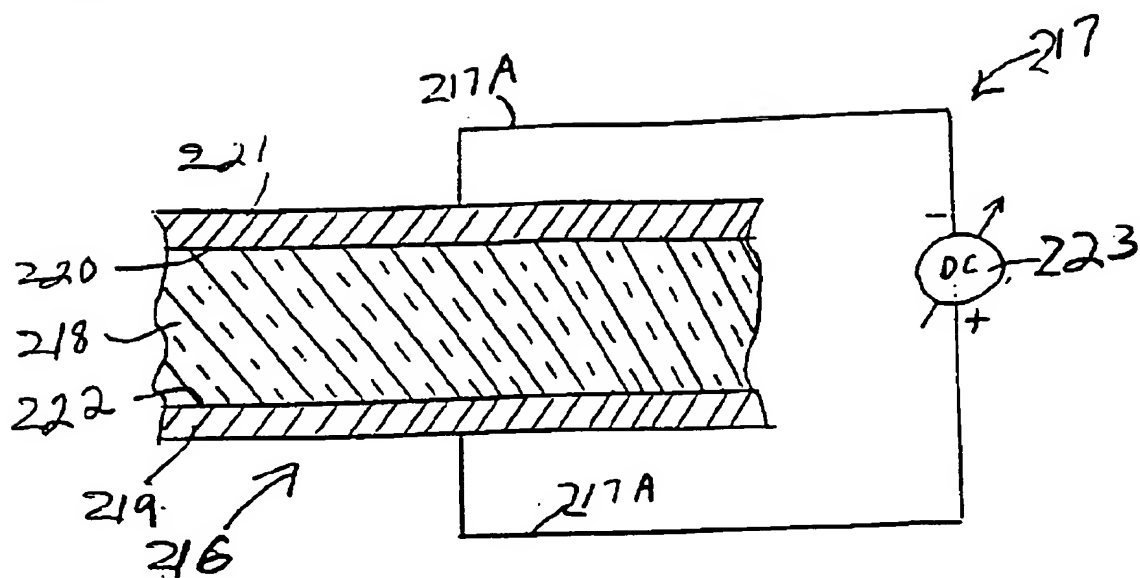


FIG. 25

【図26】

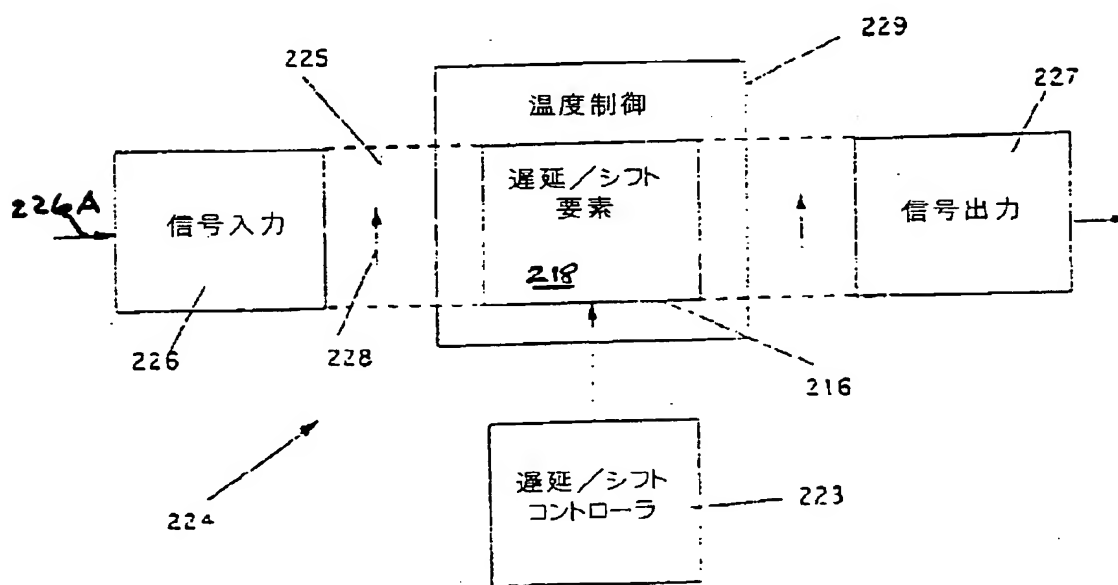


Figure 26

【図27】

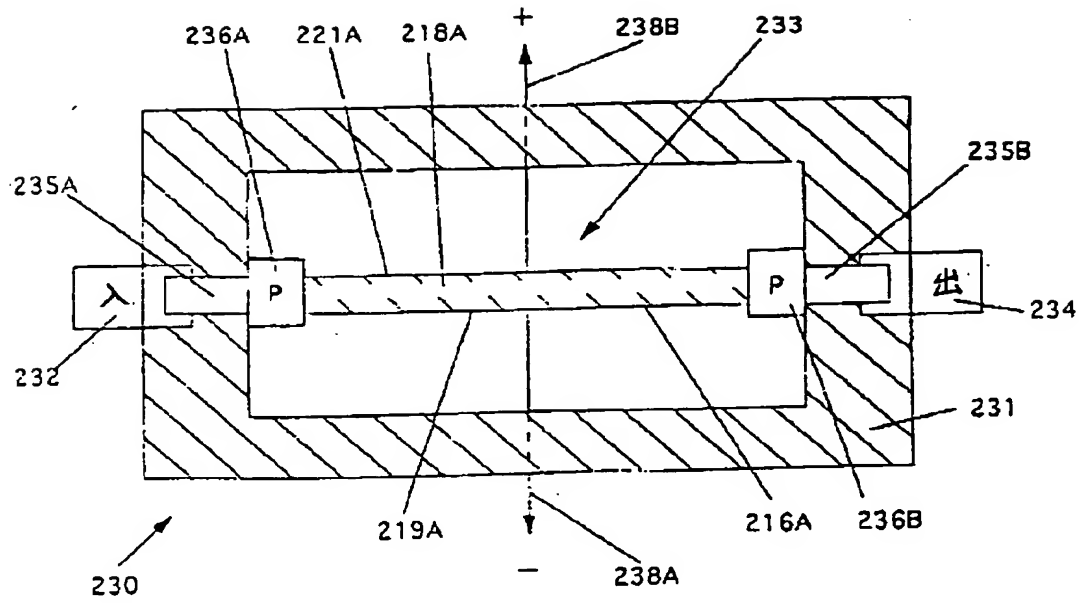


Figure 27

【図28】

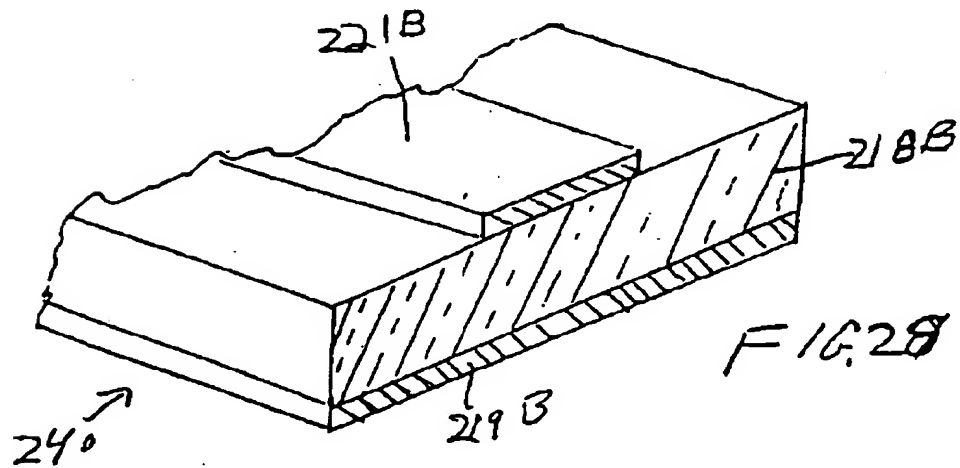


FIG. 28

【図29】

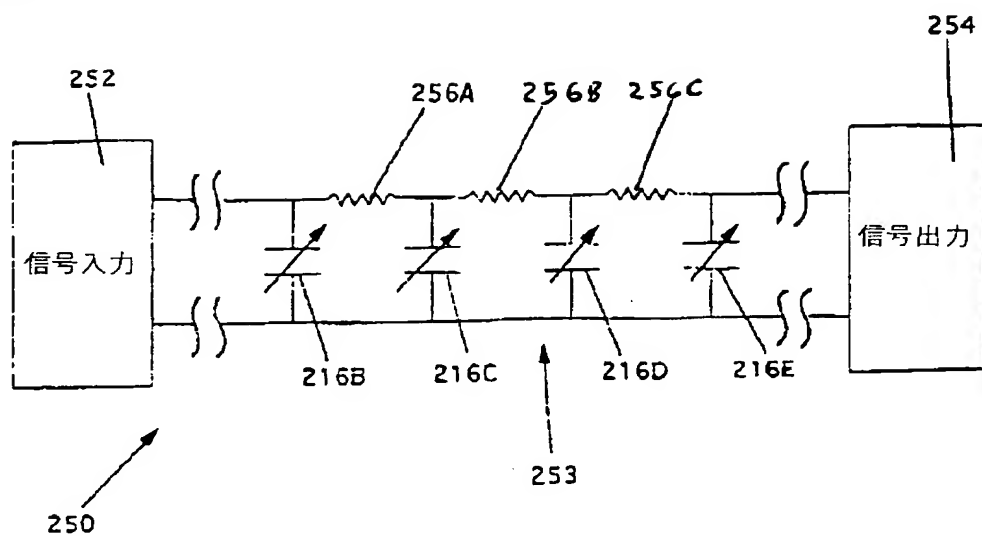


Figure 29

【図30】

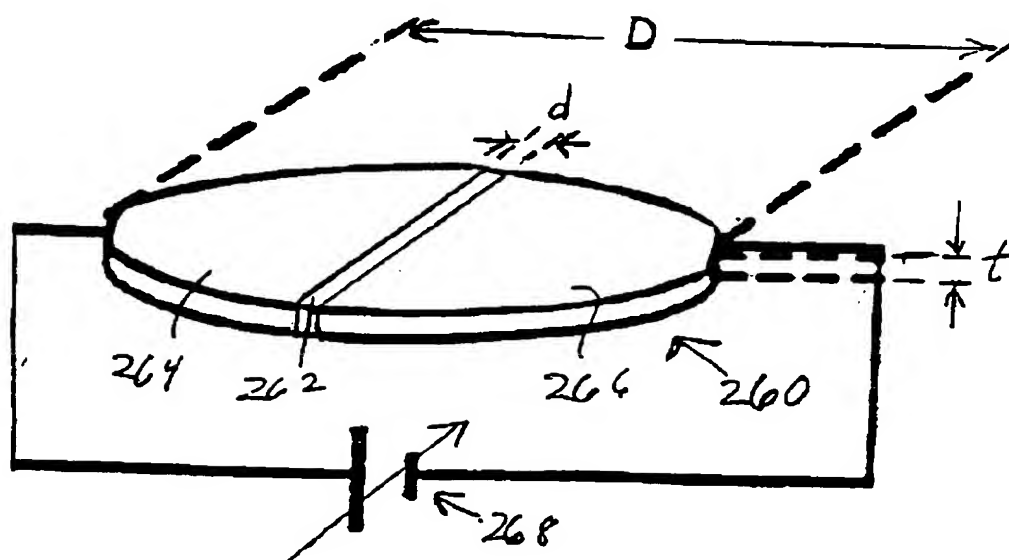
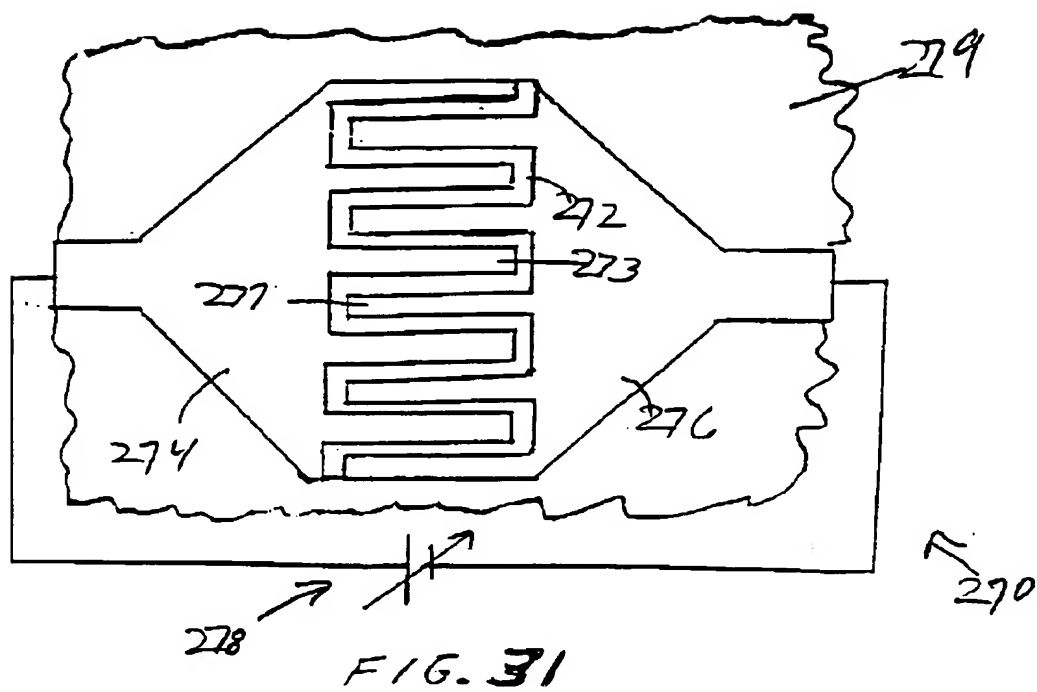
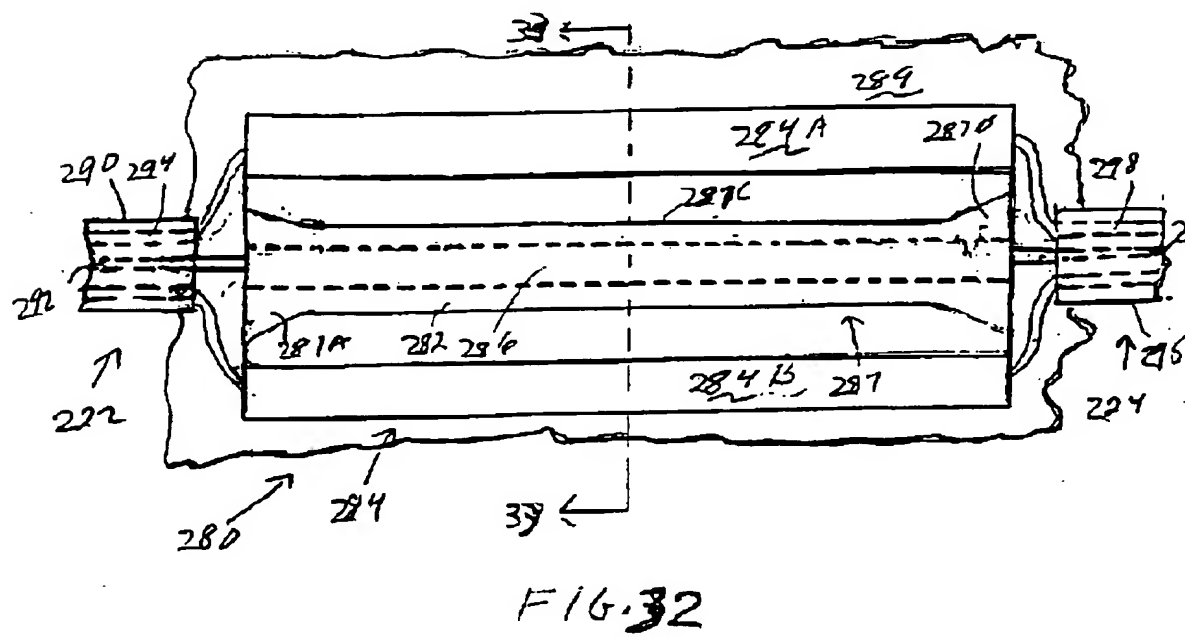


FIG.30

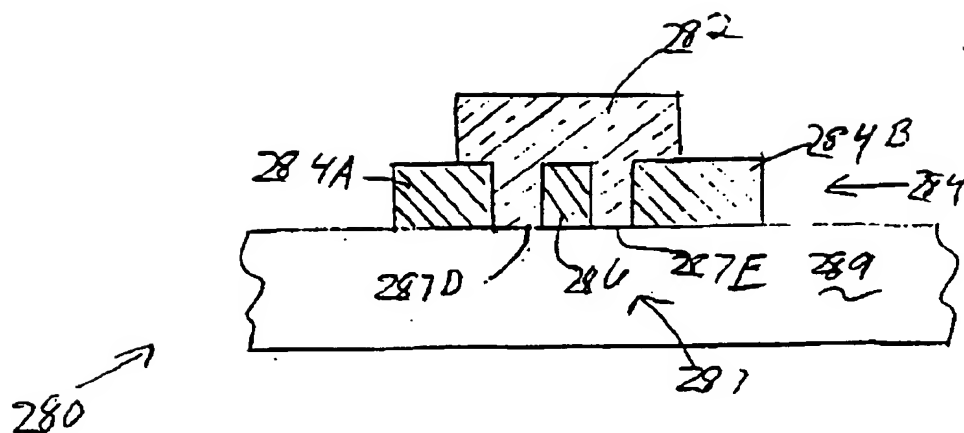
【図31】



【図32】

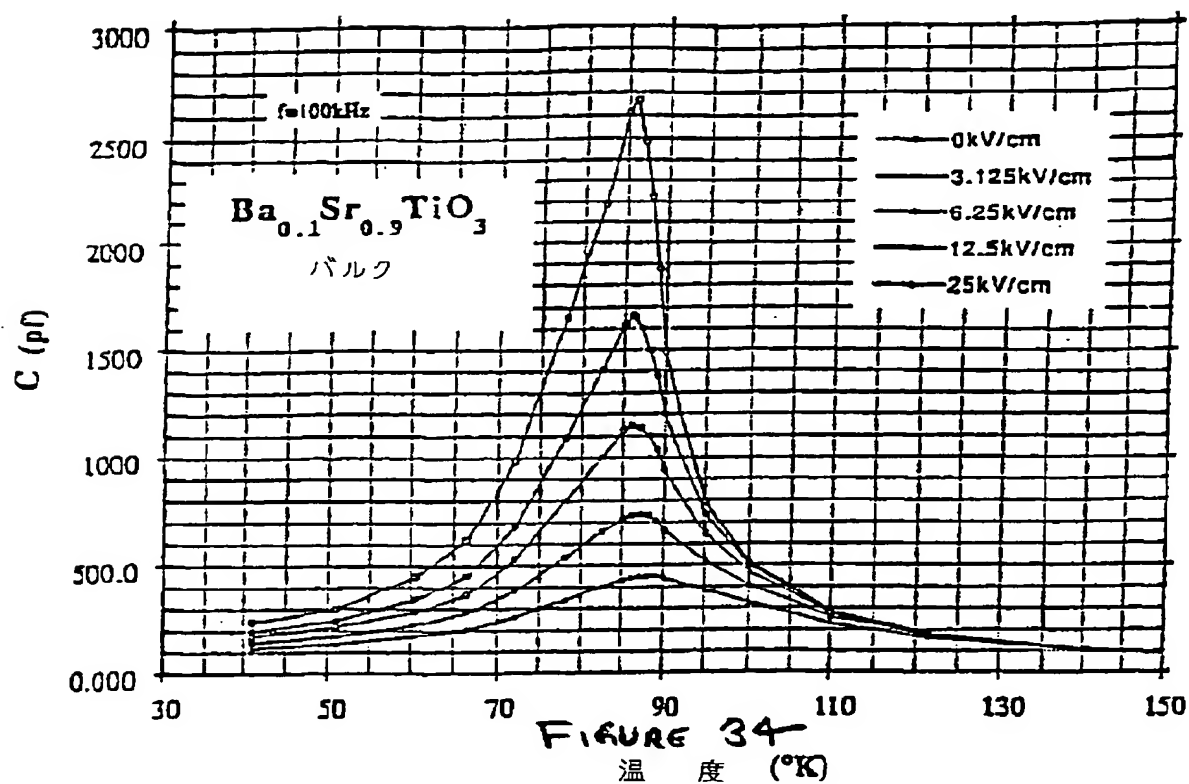


【図33】

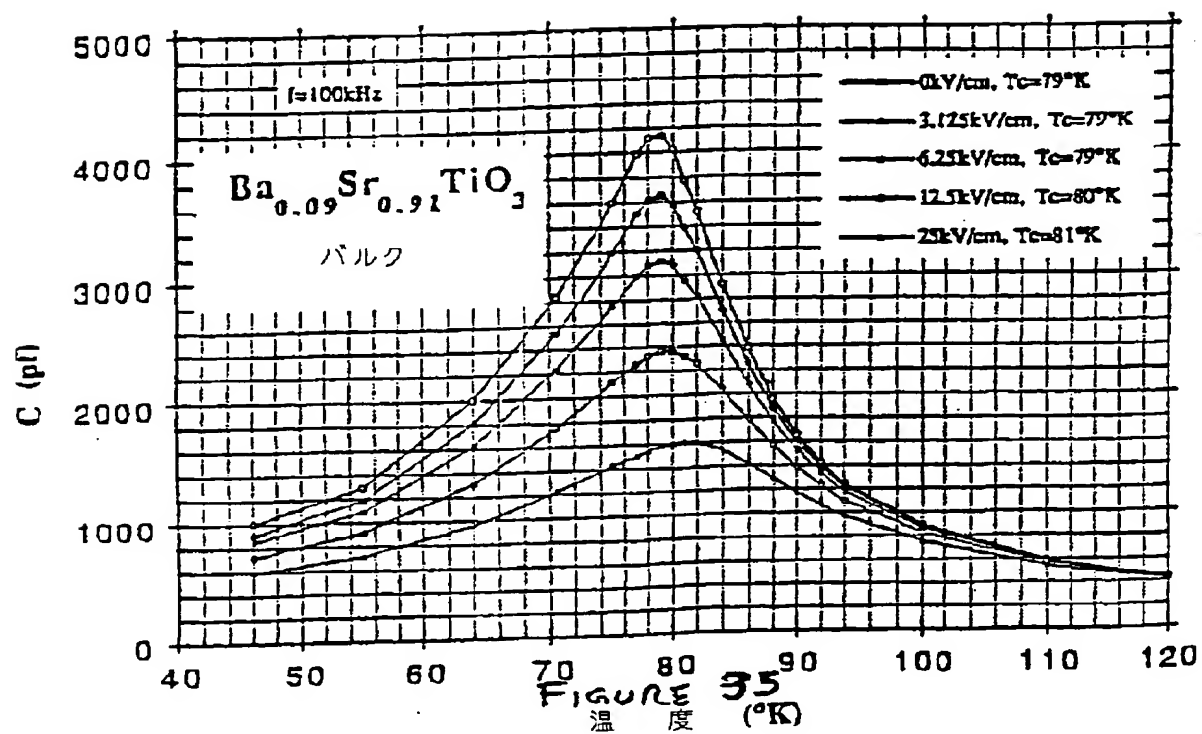


F1639

【図34】



【図 35】



【图 3 6】

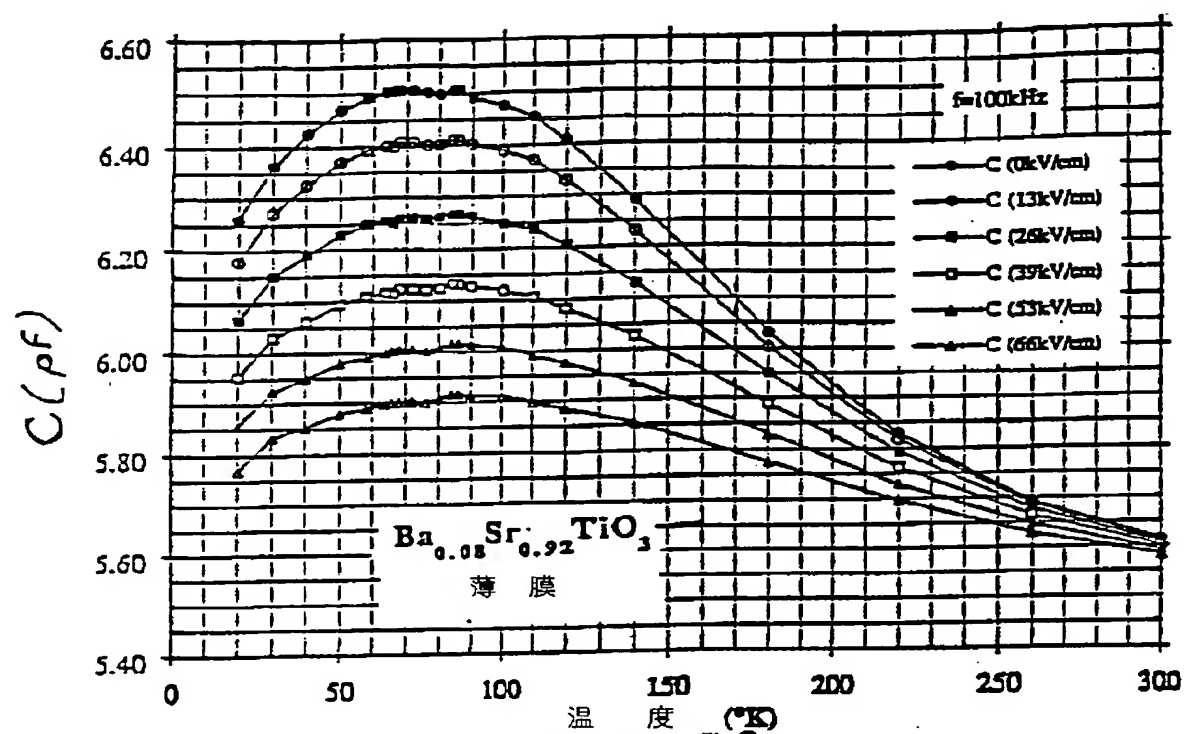


FIGURE 36

【图 37】

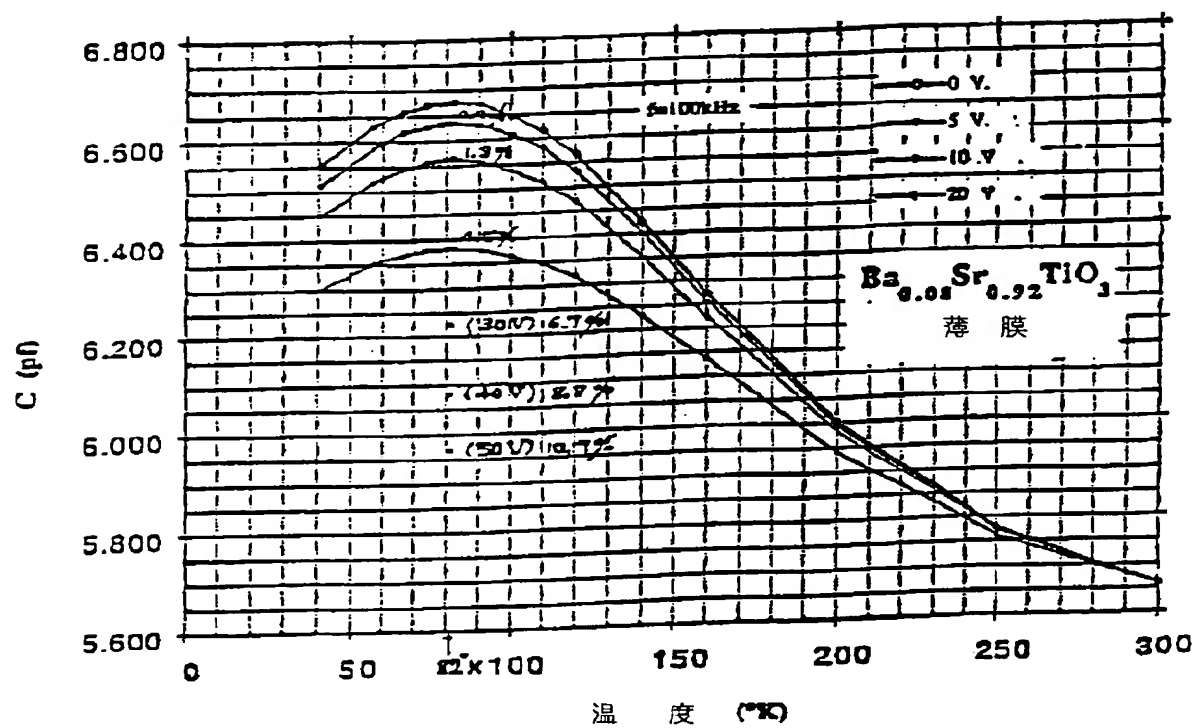
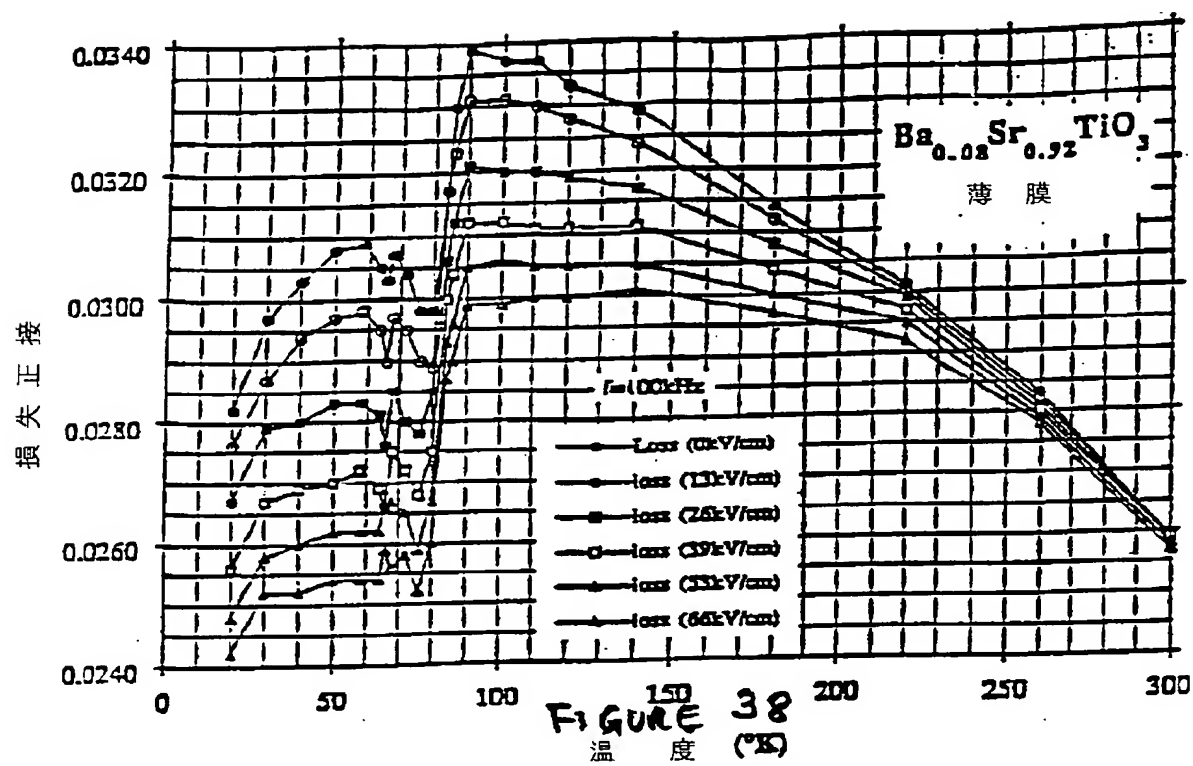
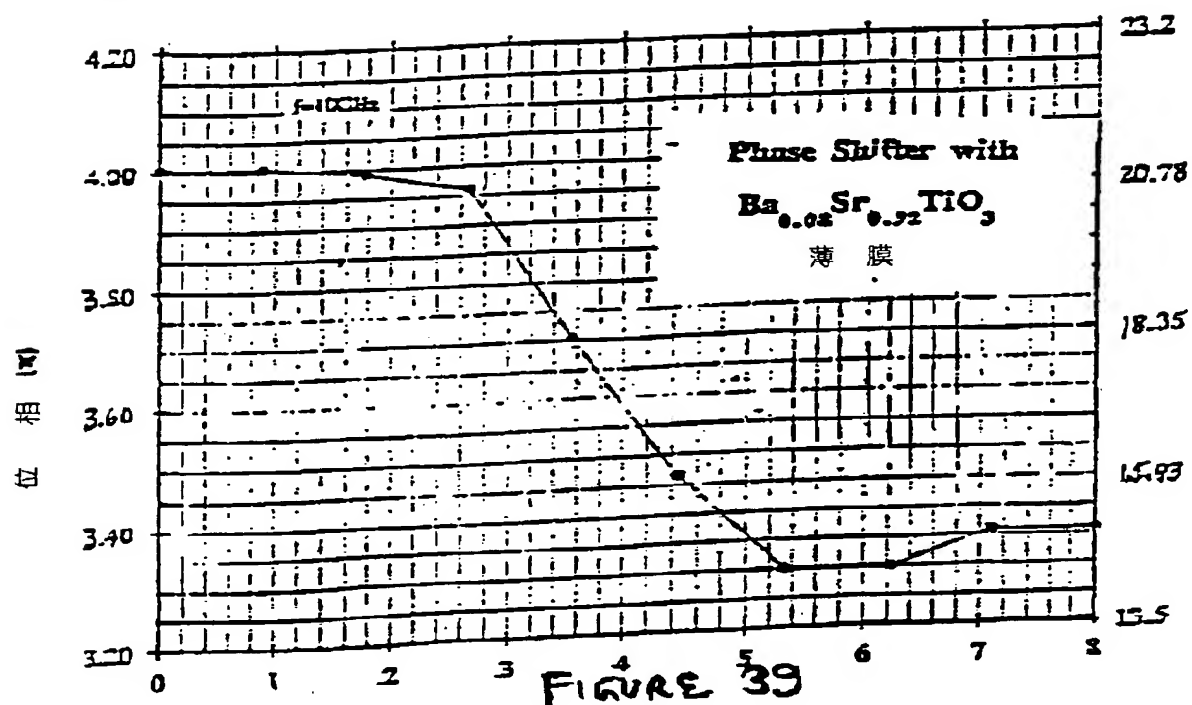


FIGURE 37

【图 38】



【图 39】



【手続補正書】特許法第184条の8

【提出日】1995年3月22日

【補正内容】

英文明細書第16頁第1行から第16頁第22行迄

(翻訳文明細書第13頁第1行から第15頁第7行迄)

(前略)

図1に示されるように、接地面23上に被着される強誘電体の薄膜22上に被着されたHTSC材料、例えばYBCO材料の薄膜のパターン化されたマイクロストリップ線21によって同調可能遅延線20が形成される。更に、接地面23が、 SrTiO_3 の如き結晶基板上に被着される。強誘電体薄膜22は、例えば、100Å乃至10000Åの厚さでよい。超伝導体即ちマイクロストリップ線21と接地面23との間に電圧を印加することにより、DCバイアスが強誘電層に与えられ、これによりその層内の誘電率および光波の伝播速度を変化させる。マイクロストリップ線および接地面の両者がHTSC材料から作ることができることに注目されたい。

YBCO薄膜のマイクロストリップ線即ちパターン21が、ゾルーゲル、化学気相成長法、物理気相成長法、スパッタリング、レーザ・デポジション、または他の技法を用いることによって、 SrTiO_3 薄膜基板22上に被着される。超伝導薄膜および強誘電薄膜のゾルーゲル・デポジションおよび化学気相成長法については、米国コロラド州、Colorado SpringsのSymetrix社に譲渡された米国特許第5,119,760号および同第5,138,520号に開示されている。

図2は、マイクロストリップ線または(HTSC)YBCO材料の薄膜21を含む同調可能遅延線20の概略図を示している。通常の金属(例えば、銀)またはHTSC材料の接地面23が、基板即ち膜22の背面22a上に被着される。変更可能な電圧源25が、可変電圧をマイクロストリップ線21および接地面23により強誘電体層22に対して電界として印加されることを可能にする。

SrTiO_3 は、強誘電体の分類において BaTiO_3 グループに帰属する。 BaTiO_3 は、周知の強誘電体およびその立方相から正方相への相転位であり、

ここで外部電界における正方相におけるTiの小さな変位が強誘電性の起因である。SrTiO₃は、より低い温度において3つの結晶相転位を有する（表1参照）。

表 1
SrTiO₃の低温度相転位

温度 (K)	定常相	物理的定数
> 110	立方相	$a = 3.902 \text{ \AA}$
65 ~ 110	正方相	$c/a = 1.00056$
35 ~ 65	斜方相	$a : b : c =$ $0.9998 : 1 : 1.0002$
< 10	おそらくは、菱面相	

薄膜22に対して使用可能な他の強誘電体は、BaTiO₃、LiNbO₃、Pb(Sr, Ti)O₃、Sr_xBa_{1-x}TiO₃などを含む。第III族乃至第V族、および第II族乃至第VI族からの他の材料は、エピタキシャル・デポジションが要求されるならば起生する格子整合問題を解消するため、他の緩衝層と共に使用することができる。

同調可能遅延線20の同調可能性の程度は、強誘電体、温度および印加される電界即ち電圧に依存する。

本発明の超伝導体/強誘電体の同調可能遅延線20の利点は、その電力扱い能力 (power handling capability) である。歪みは、RF電圧がDC制御電圧と共用し得るようになる時、非線形伝送線で生じ得る。マイクロストリップ線の電力扱い性は、使用される最小バイアス電圧から推定することができる。電力は、 $P = V^2/Z$ により与えられ、ここでPは電力に等しく、Vは電圧、Zはインピーダンスに等しい。従って、5ボルトのバイアスおよび1オームのインピーダンスの場合、非線形性が現れる前に、25ワット（即ち、>40 dBm）を取扱うことができる。高い電力レベルが、線の臨界電流伝送能

力を越えないことを保証するマイクロストリップ線幅要件を設定することになる。

図3は、本発明の多層超伝導体／強誘電体薄膜構造の温度変化による実電圧と仮想電圧に関する抵抗値の変化を示す。

図4は、本発明の同調可能共振器に対する77K時のGHzの周波数に対してプロットされたdB単位の同調可能共振器の挿入損失における変化を示す。

図5は、HTSC材料の断面におけるマイクロストリップ線31を示す。図5に示されるように、マイクロストリップ線31のHTSC材料32の薄膜は、強誘電体の薄膜34上に被着される。強誘電体薄膜34は、HTSC材料薄膜33と隣接している。結晶性基板35が、薄膜33、34および32を支持している。

(以下略)

英文明細書第22頁第1行から第25頁第2行迄

(前略)

- (1) 同調可能キャビティおよび共振器
- (2) 同調可能周波数および波長フィルタ
- (3) フェライト薄膜アイソレータ
- (4) 指向性のある結合スイッチ
- (5) パッチ・アンテナ用位相シフト・フィーダ
- (6) 共面線の中心導体として電圧同調された曲折線を用いる可変インピーダンスを持つ共面線
- (7) 同調可能な共振アンテナ
- (8) 同調可能な電氣的に小型なアンテナ、および
- (9) 比較的高いQを提供できる同調可能な1次元共焦点共振器

本発明による共面構造60が図9に示される。構造60は、LaAlO₃基板62と重合する強誘電膜61を含んでいる。HTSC（例えば、YBCOまたは

TBCCO）材料の薄膜63が、チタン酸バリウム・ストロンチウム（BST）材料の如き強誘電体の膜61上に被着され、前記BSTの下面はLaAlO₃（

LAO) 材料の上面と隣接している。

図10は、共面線68、69間に配置される共面線66、67を持つ半波長共振器を形成するYBCO材料の中心部66を有する構造65を示す。線66～69は、BST材料の誘電膜70上に被着される。例えばLaAlO₃材料でよい基板71の厚さの変化は、BST材料の膜70の実効誘電率と、電圧ソース72により誘電膜71に印加される可変電圧によるこの誘電率の変化率とを修正する。

図11は、容量的に結合されたマイクロストリップ共振器80を示している。図11に示される寸法は例示である。この共振器は、超伝導体(HTSC)のマイクロストリップ81、82を含む。薄膜の強誘電体のストリップ83は、ストリップ81、82間のギャップ84上に延在する。HTSC材料のストリップ85、86は、それぞれリード87、88によりそれぞれストリップ81、82に接続される。例えば、図11の共振器80が $\epsilon_r = 24.5$ である約17ミル(mil)のLaAlO₃(LAO)上に被着されるならば、実効誘電率 ϵ_{eff} は $\epsilon \div 20$ である。

同調可能性のない図11の誘導的に結合された共振器90は、リード92、93によりHTSC材料のストリップ94、95にそれぞれ結合されたHTSC材料のストリップ91を含む。開放端部を持つ2つの平行な離間された導体を含む伝送線の部分として同調不能共振器90が近似化されるならば、その共振周波数は、

$$f_n = c / \sqrt{\epsilon_{eff}} \times n / 2l$$

但し、

f_n は、2つの平行に隔てられた導体の共振周波数

c は、光の速度

ϵ_{eff} は、実効誘電率

n は、定数

l は、平行に隔てられた導体間の空間

例えば、 $l = 9 \text{ mm}$ 、 $n = 1, 2, 3, \dots$ である場合、 f_n は略々、3.7

GHz、7.4GHz、11.2GHz、などとなる。

同調可能共振器80におけるHTSC材料のストリップ81と82間のギャップ84上に延在する薄膜強誘電体のストリップ82により形成される強誘電性直列コンデンサは、強誘電性コンデンサの領域における大きな電流により共振モードに影響を及ぼすことになる。これらは、非対称共振モード、即ち、上式における「n」が奇数のモードである。伝送線の分析で、これらモードの増加する共振周波数に対する超越方程式を生じる。即ち、

$$-1/\tan K \cdot l/2 = 1/2\pi Z_0 \cdot C/2$$

但し、

C = キャパシタンス

Z₀ = 特徴インピーダンス ≡ 7

(以下略)

英文明細書第24頁第9行から第28頁第23行迄

l = 共振器の実効長さ (開放端部間の長さ)

k = TEMモードに対して、 $2\pi f_{nc}/f_{eff}$

但し、

c は、光の速度

f_n は、共振モードの周波数

キャパシタンスがC ~ 1 pFであると推定される。これは、下記の共振周波数スペクトルを得る。即ち、

6.7GHz、7.4GHz、13.43GHz、、、、

DCバイアスでは、6.7GHz、13.43GHz、、、、モードが電圧同調可能誘電率の変化により周波数が増加する。

図12および図13では、基板101a上に被着された強誘電体101の薄膜

を含む超伝導端部効果コンデンサ100が示される。HTSC材料の薄膜102、103は、強誘電薄膜101上に被着される。パッド104、105は、リード107、108によりそれぞれ薄膜102、103に接続されている。可変電圧ソース106は、リード107、108によりそれぞれパッド104、105

に接続され、これにより薄膜102、103に跨がって接続される。強誘電体101の薄膜は、HTSC材料の薄膜102、103間に配置された端部効果キャパシタンス領域109を有する。薄膜102、103に跨がって可変電圧を印加することにより、強誘電体101の誘電率を同調させることができる。

図14に示されるように、HTSC層A1は強誘電層A2上に被着され、薄膜124に予め定めた電圧の印加によってキャパシタンスの同調可能性を維持しながら、このHTSC層は増加される120に対して実質的にパターン化することができる。

図23は、本発明による同調可能アンテナ130を示す。この同調可能アンテナは、HTSC材料の薄膜のハーフ・ループ131を含む。絶縁材料132、133の層は、ハーフ・ループ・アンテナ131を支持している。層132、133は、HTSC材料の薄膜134により分離される。HTSC材料の薄膜135は、ハーフ・ループ131に接続されている。強誘電体の薄膜136は、薄膜135と、基板138上に被着されるHTSC材料の薄膜140との間に被着される。その間に膜133を持つ薄膜135、140は、同調可能コンデンサ141を形成する。

図24では、図23のハーフ・ループ・アンテナ130の相等回路が示される。駆動信号ソース142は、薄膜140に接続され、これによりコンデンサ141に接続される。図24に示されるように、インダクタンス143および抵抗144は、ハーフ・ループ・アンテナの抵抗RとインダクタンスLの集合値である。コンデンサ141に跨がるDC電圧の印加でそのキャパシタンスを同調させ、従ってハーフ・ループ・アンテナ131およびコンデンサ141を含む回路の共振の

周波数を同調させる。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US93/11780

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(5) : Please See Extra Sheet.

US CL : Please See Extra Sheet.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 505/1, 700, 701, 866; 333/161, 99S, 219, 235, 238, 246; 343/700R, 700MS, 741, 744, 753, 754, 910; 342/371, 372, 373; 361/281, 280, 277, 305, 321.4, 321.5, 322; 257/293

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	US, A, 5,208,213 (Ruby) 04 May 1993, see figs. 2 & 4, and col 2, lines 27-45.	1,3,5-10, 39-42
Y,P	US, A, 5,212,463 (Babbitt et al) 18 May 1993, see fig. 1 and col 3, lines 15-46	1,3,5-10, 39-42
Y	JP, A, 205,904 (Higaki) 09 September 1991, see abstract and fig. 2	1,3,5-10, 39-42

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

Special categories of cited documents:	
A documents defining the general state of the art which is not considered to be part of particular relevance	*T* later documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
E earlier documents published on or after the international filing date	*X* documents of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
L documents which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	*Y* documents of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
O documents referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
P documents published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	*Z* documents member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 March 1994

Date of mailing of the international search report

12 5 APR 1994

Name and mailing address of the ISA/US
Commissioner of Patents and Trademarks
Box PCT
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. NOT APPLICABLE

Authorized officer

for BENNY LEE *Benny Lee*
Telephone No. (703) 308 4902

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US93/11780

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Please See Extra Sheet.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☒

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☐

No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

I. national application No.
PCT/US93/11780

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER:

IPC (3):

H01P 1/18, H01P 3/08, H01P 7/08; H01B 12/02; H01L 39/06; H01Q 3/00, H01Q 7/00, H01Q 9/00, H01Q 15/00;
H01G 7/06

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER:

US CL :

505/1, 700, 701, 866; 333/161, 99S, 219, 235, 238, 246; 343/700MS, 744, 910; 342/371; 361/281

BOX II. OBSERVATIONS WHERE UNITY OF INVENTION WAS LACKING

This ISA found multiple inventions as follows:

- I. Claims 1-10, 39-42, drawn to a tuneable superconducting electronic component/phase shifter classified in Cl 333/161;
- II. Claims 11-19, drawn to a tuneable superconducting electric antenna/array classified in Cl 343/700MS;
- III. Claims 20-22, drawn to a superconducting phase array antenna classified in Cl 342/371;
- IV. Claims 23-26, 32-35, drawn to a tuneable superconducting fringe effect capacitor classified in Cl 361/281;
- V. Claims 27, 28 drawn to a tuneable superconducting coplanar electrical component classified in Cl 333/246;
- VI. Claims 29-31, drawn to a capacitively coupled superconducting microstrip resonator classified in Cl 333/219;
- VII. Claims 36-38, drawn to a tuneable superconducting loop antenna classified in Cl 343/741;
- VIII. Claims 43-52, 58-64, 70-75, 81-84, drawn to a tuneable ferroelectric (i.e. BST) electrical device classified in Cl 333/99S;
- IV. Claims 53, 65, 76, drawn to a tuneable ferroelectric coplanar waveguide phase shifter classified in Cl 333/161;
- X. Claims 54, 66, 77, drawn to a tuneable ferroelectric fringe effect capacitor classified in Cl 361/281;
- XI. Claims 55-57, 67-69, 78-80, drawn to a tuneable ferroelectric transmission line classified in Cl 333/238;

フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	
H 0 1 P 9/00		4241-5J	H 0 1 P 9/00	Z
H 0 1 Q 3/30		8941-5J	H 0 1 Q 3/30	
7/00		7437-5J	7/00	
13/08		8941-5J	13/08	

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), AU, CA, FI, JP, K R

(72)発明者 ブライス, ジョン・チャールズ
アメリカ合衆国コロラド州80302, ボウル
ダー, シックスティーンズ・ストリート
742

(72)発明者 バーネス, フランク
アメリカ合衆国コロラド州80302, ボウル
ダー, コンチネンタル・ヴュー・ドライブ
225

(72)発明者 ハーマン, アレン・エム
アメリカ合衆国コロラド州80401, ゴール
デン, ルックアウト・ヴュー・ドライブ
2704

(72)発明者 スコット, ジェイムズ・ロイド
アメリカ合衆国コロラド州80303, ボウル
ダー, ブライアーウッド・ドライブ 2402

【要約の続き】

ことにより達成されるこの組合わされた低損失および周波数同調可能性は、従来技術を越える著しい進歩をもたらす。広範囲の金属酸化物超伝導体および広範囲の強誘電体の共用性は、超伝導性膜上の強誘電性膜および強誘電性膜上の超伝導性膜を含む多数の薄膜多層形態の製造を可能にする。このような形態の柔軟性および膜のデポジションはまた、更にコンパクトな装置構造を可能にすると共に、集積されるモノリシック・デバイスをも可能にする。このようなデバイスの集積化は、独特なアンテナその他の装置に対して、更なるコスト効率がよくかつより高い性能を呈する形態を可能にする。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.